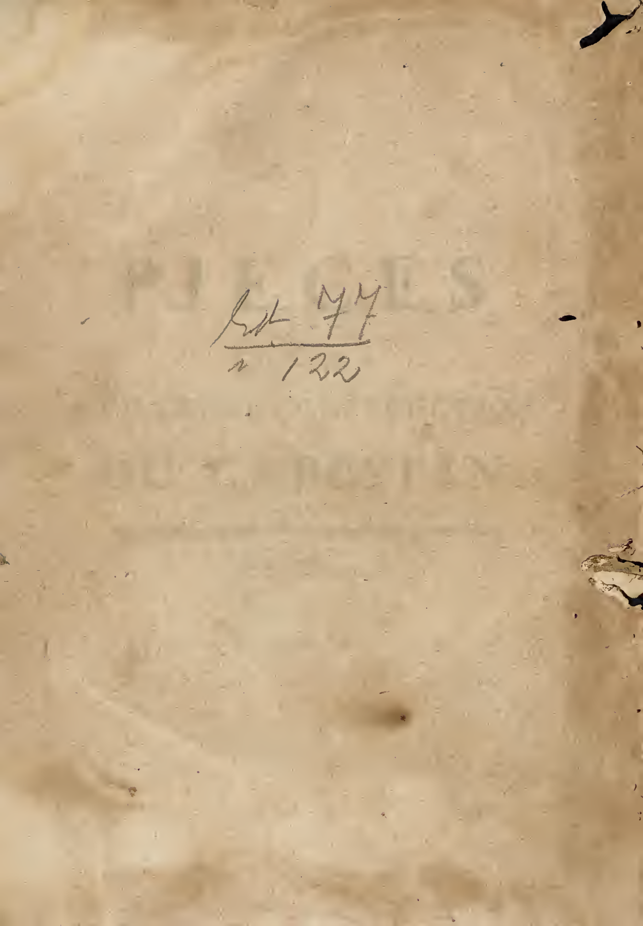








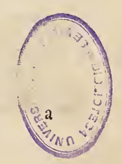
PIECES

SUR LA

MEILLEURE CONSTRUCTION

DU CABESTAN.

Prix de 1741.



PIECES
QUI ONT REMPORTÉ
LE PRIX
DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES,
EN M. DCC. XLI.

Sur la meilleure construction du Cabestan.

Selon la fondation faite par feu M. ROUILLE' DE MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.



A PARIS, rue Saint Jacques,

Chez G. MARTIN, J. B. COIGNARD, & les Freres GUERIN, Libraires.

M. DCC. XLV.



AVERTISSEMENT.

L'Académie ayant ſouhaité de procurer à la Marine un Cabeſtan qui fût exempt des inconvéniens auſquels eſt ſujet celui dont on ſe ſert actuellement, elle propoſa pour le Prix de 1739. de trouver un Cabeſtan qui eût les avantages de l'ancien, ſans en avoir les défauts. Quoique parmi les Mémoires qu'elle reçut, il y en eut pluſieurs qui étoient pleins d'idées ingénieuſes, & utiles à certains égards, elle n'en trouva cependant aucun qui remplît ſuffiſamment les conditions qu'elle avoit exigées. Elle prit donc le parti de différer ſon jugement, & de propoſer le même ſujet pour l'année 1741. avec un Prix de double valeur. Les Sçavans ont profité de ce délai, ſoit pour compoſer de nouveaux Mémoires, ſoit pour faire des additions & des corrections aux anciens. Mais l'Académie ne croit pas devoir diſſimuler, que parmi les Cabeſtans qui lui ont été préſentés pour ſauver les inconvéniens de celui qui eſt en uſage, elle n'en a trouvé aucun qui n'eût lui-même des inconvéniens, & tels qu'ils pourroient bien balancer ſes avantages, ce que la pratique ſeule

peut apprendre. L'Académie a pourtant jugé que la maniere dont le ſujet a été traité dans quatre de ces Mémoires, méritoit d'être récompenſée : car outre qu'on y a propoſé des Cabeſtans nouveaux, ingénieuſement imaginés, & utiles au moins dans certains cas, on y a donné des théories qui peuvent conduire à perfectionner les manœuvres de l'ancien Cabeſtan, & elle a cru devoir partager également le Prix à ces quatre Pieces, & les faire imprimer dans l'ordre des numeros de leur réception; ſçavoir,

N° 13, qui a pour deviſe,

.... Tentanda via eſt, quâ me quoque poſſim
Tollere humo, victorque virûm volitare per ora. Virg.
dont l'Auteur eſt M. *Jean Bernoulli* le Fils.

N° 14, qui répond au N° 7 de 1739, qui a pour deviſe,

Preſſa momordit humum ſuperas nunc gaudet ad auras
Ancora judicio tendere noſtra tuo.
& dont l'Auteur nous eſt inconnu.

N° 25, qui a pour deviſe,

Arte citæ, veloque rates, remoque reguntur. Ovid.
& dont l'Auteur eſt M. le Marquis *Poleni*, Profeſſeur de Mathématiques à Padoue.

Et N° 32, ou 20 de 1739, qui a pour deviſe,
Un cordage roulé autour d'un double aiſſieu,
Peut être dévidé ſans fin au même lieu,
dont l'Auteur nous eſt inconnu.

L'Académie a auſſi jugé à propos de faire imprimer dans l'ordre de leur réception, trois autres

Pieces, ſous le titre d'*Acceſſit* ; ſçavoir,

N° 16, qui a pour deviſe, *Deus non projicit ſimplicem.*

N° 27, qui a pour deviſe, *Quando non poteſt fieri id quod vis, id velis quod fieri poſſit.*

Et N° 29, qui a pour deviſe,

Plus il me réſiſte, mieux je le ſaiſis.



CATALOGUE

Des Ouvrages contenus dans ce Recueil.

DISCOURS

DISCOURS
SUR LE
CABESTAN.

Cette Piece est une des quatre entre lesquelles le Prix double a été partagé.

. . . Tentanda via est, quà me quoque possim
Tollere humo, victórque virûm volitare per ora. Virgil.

Par M. JEAN BERNOULLI, le Fils.



DISCOURS
SUR
LE CABESTAN.

. . . *Tentanda via eſt, quà me quoque poſſim*
Tollere humo, victórque virûm volitare per ora, Virgil.



ON ne peut diſconvenir que les Sciences ne doivent beaucoup à la fondation faite par feu M. Rouillé de Meſlay, des prix que l'Académie Royale des Sciences diſtribue tous les ans.

Pour en être perſuadé, on n'a qu'à jetter les yeux ſur tant d'excellens ouvrages couronnés par cette Académie, & qui ſont le fruit de cette fondation.

Mais il faut avouer auſſi, que ces mêmes Sciences ſont plus redevables encore aux perſonnes éclairées qui propoſent les ſujets de ces Prix, & au choix judicieux qui ſe remarque dans les queſtions qui forment ces ſujets. En pro-

posant un Problême, quel qu'il soit, il faut sans doute avoir égard à la possibilité, à l'utilité & à la difficulté de sa solution. Il n'y a guéres moins d'honneur à proposer un Problême, où ces trois conditions soient bien observées, qu'à le résoudre; le chemin est même tout frayé à l'invention, quand on en connoît la possibilité & l'utilité, & quand on sait ce qu'il faut proprement chercher & ce qu'il faut éviter.

Tel homme ingénieux, par exemple, auroit peut-être trouvé le mouvement perpétuel, si quelqu'un lui en avoit pû démontrer la possibilité; & tant de gens se seroient épargné la peine inutile de le chercher, s'ils en avoient reconnu l'impossibilité.

Le choix des questions proposées par l'Académie prouve bien une chose, qui véritablement n'avoit pas besoin de preuve; je veux dire, que personne ne résoudroit mieux ces questions, que les Sçavans eux-mêmes qui les proposent, si par un excès de générosité & de délicatesse, ils ne s'étoient exclus de prétendre aux Prix. Il seroit à souhaiter que Messieurs les Académiciens eussent été moins scrupuleux: ils auroient mieux répondu à l'intention du Fondateur, qui a eu pour but l'avancement des Sciences; & ils ne se verroient pas sans doute obligés, comme ils le sont quelquefois, de renvoyer la distribution des prix par le manque d'assez bons ouvrages qui leur soient présentés.

C'est surtout dans la recherche que l'Académie vient de proposer une seconde fois pour sujet du Prix, qu'une grande utilité se trouve combinée avec beaucoup de difficulté. Cette recherche consiste à sçavoir, *quelle est la meilleure construction du Cabestan, ou de telle autre machine équivalente.*

Personne n'ignore que les ancres, & par conséquent les Cabestans, sont d'un usage indispensable pour la navigation; cela étant, on n'a qu'à porter la vue sur les inconvéniens qui accompagnent l'usage du Cabestan ordinaire, & qui sont rapportés tout au long dans le premier des deux Programmes où le sujet en question est proposé, pour

ſe convaincre de l'avantage qu'on retireroit de l'invention que l'Académie demande.

Quant à la difficulté d'imaginer une machine qui ſoit délivrée des inconvéniens du Cabeſtan ordinaire ſans être aſſujettie à d'autres inconvéniens auſſi fâcheux que ceux-là, ſi on en laiſſe juger ceux qui ont entrepris la ſolution de ce Problême, ils tomberont tous d'accord que de quel côté qu'on l'entame, & de quelle maniere qu'on le retourne, on y rencontre des obſtacles qui rebutent: ſi on ne donne pas contre les écueils qu'on ſe propoſe d'éviter, on riſque d'échouer contre d'autres plus dangereux encore.

Ce que je viens de dire eſt ſi vrai, que lorſque je commençai à méditer ſur ce Problême, je fus quelque tems à le regarder comme n'étant pas ſuſceptible d'une ſolution parfaite, & à m'imaginer qu'il ne s'y agiſſoit que d'une ſolution plus ou moins ſujette à pluſieurs ſortes d'inconvéniens. Cependant à meſure que mes idées ſe ſont développées, elles m'ont conduit peu à peu à ſatisfaire ſi pleinement à la demande de l'Académie, que j'oſe me flatter d'avoir réſolu le Problême propoſé auſſi parfaitement qu'on puiſſe réſoudre un Problême de pure Géométrie; & il y a d'autant moins à excepter contre ma ſolution, que non-ſeulement elle eſt fondée ſur des Théorêmes inconteſtables, & qui prouvent en même tems qu'elle eſt la plus ſimple qu'on puiſſe donner, mais qu'elle eſt encore confirmée par l'expérience, qui décide en dernier reſſort des jugemens de la Théorie.

Comme il s'agit principalement des Cabeſtans doubles, qui ſervent pour les grands vaiſſeaux, je ne parlerai ici que de ceux-là; mais on verra ſans peine, que ce que j'en dirai, pourra être appliqué à toutes ſortes de Cabeſtans.

J'obſerverai dans la ſuite de ce Mémoire une eſpéce d'ordre analytique qui ſatisfait bien plus le Lecteur que la ſynthèſe: je repaſſerai pas à pas ſur la route que j'ai ſuivie en tâchant de réſoudre la queſtion propoſée; mais il eſt à pro-

pos de rapporter auparavant dans une premiere Partie les Théorêmes & les expériences que je ſuppoſerai dans mes raiſonnemens, pour faire voir que je n'avance rien qui ne ſoit ſuffiſamment démontré & avéré.

PREMIERE PARTIE.

EXPE'RIENCE.

§. I. La force requiſe pour mouvoir une ſurface chargée d'un poids ſur une autre ſurface horizontale, & pour vaincre la réſiſtance du frottement, eſt ſimplement proportionnelle audit poids, quelque grande ou petite que ſoit la ſurface qui en eſt chargée. Cette vérité qui eſt généralement reconnue, & que l'expérience nous a enſeignée, ſera la baſe de notre Théorie.

SCHOLIE.

§. II. On ſuppoſe dans cette propoſition des ſurfaces uniformes; car les ſurfaces de différentes natures demandent toujours des forces differentes, quoique toutes les autres circonſtances demeurent les mêmes. Il eſt vrai que les réſiſtances cauſées par le frottement peuvent être différentes, lorſqu'il s'agit de mouvoir les poids avec plus ou moins de vîteſſe; du moins n'a-t-on pas encore fait là-deſſus aſſez d'expériences pour rien établir: mais c'eſt ici une circonſtance que nous pouvons nous diſpenſer d'examiner; car il ne s'agira dans nos recherches, que de trouver la force qui eſt en équilibre avec la réſiſtance du frottement, & laquelle étant par conſéquent tant ſoit peu augmentée, pourra vaincre le frottement & entraîner le poids.

Après avoir fait remarquer cette propriété, nous allons donner la ſolution d'un Problême, que je ne ſçache point avoir encore été traité, très-utile dans la Méchanique &

dans le calcul des forces, & furtout très-effentiel à notre fujet.

PROBLEME.

§. III. Soit (figure 1.) ACD la fection d'un Cylindre immobile dont le centre eft en B, foit C le bout d'une corde affermi au Cylindre, & que la corde paffe fur l'arc donné CA; & fuppofons enfin, qu'à l'autre bout E de la corde foit attaché un poids P: il faut trouver la tenfion de la corde dans un point quelconque M.

SOLUTION.

Il eft clair d'abord que la tenfion de la corde diminue continuellement depuis A jufqu'en C. Prenant donc fur l'arc AC, deux points infiniment proches M, m, il s'agit de trouver la diminution de la tenfion caufée par l'élément Mm. Pour trouver cette diminution, nous nommerons l'arc $AM = x$; $Mm = dx$; tout l'arc $AC = a$, le rayon $AB = r$; la tenfion de la corde au point $M = t$, & la même tenfion au point $m = t - dt$. Or il eft clair que la diminution de la tenfion eft précifément égale au frottement caufé par l'élément Mm, puifque le frottement de chaque arc AM, & la tenfion au point M pris enfemble, font toujours égaux au poids conftant P. Il n'eft donc plus queftion que d'exprimer le frottement caufé par l'élément Mm: mais comme il ne me fuffit pas de l'exprimer *in abftracto* en introduifant une quantité conftante fans en déterminer la valeur abfolue, il faut avoir recours à une expérience fondamentale faite avec la même corde fur une furface pareille à celle de notre Cylindre. Suppofons donc que la corde AC mife fur une table horizontale, dont la furface foit pareille à celle du Cylindre & chargée d'un poids π, fouffre un frottement égal à un poids p: ce frottement p fera le même fi l'on change la longueur de la corde mife fur la table, pourvû qu'elle foit toujours chargée du même

poids π; (Prop. 1.) & ainsi on pourra concevoir cette longueur infiniment petite & égale à l'élément Mm : & si on conçoit la corde chargée d'un autre poids, le frottement sera proportionnel au poids dont la corde est chargée. Voyons donc à présent avec quelle force la corde est pressée contre l'élément Mm. On sait que la tension de la corde étant t, l'élément $M\,m$ souffre une pression égale à $\frac{Mmt}{2r} = \frac{t\,dx}{2r}$; il faut donc faire cette analogie: Comme la pression π est au frottement p, ainsi sera la pression $\frac{t\,dx}{2r}$ au frottement causé par l'élément $M\,m$, qui deviendra $= \frac{p\,t\,dx}{2\pi r}$. Or nous avons vû ci-dessus, que la diminution de la tension $d\,t$ est égale audit frottement $\frac{p\,t\,dx}{2\,r}$; nous avons donc cette équation, $-d\,t = \frac{p\,t\,dx}{2\pi r}$. De cette équation nous tirons $-\frac{dt}{t} = \frac{p\,dx}{2\pi r}$ dont l'integrale est log. $\frac{a}{t} = \frac{px}{2\pi r}$, dans laquelle, a, marque une constante; pour la déterminer, considérons que t doit être $= P$ lorsque x est $= 0$, cela fait voir, que $a = P$, & qu'il faut par conséquent mettre log. $\frac{P}{t} = \frac{px}{2\pi r}$. Soit à présent, c, le nombre dont le Logarithme est l'unité, & qu'on prenne de part & d'autre les nombres, nous aurons $\frac{P}{t} = c^{\frac{px}{2\pi r}}$, ou enfin $t = c^{\frac{-px}{2\pi r}} \times P$. *C. Q. F. T.*

SCHOLIE.

§. IV. Dans cette solution nous avons négligé le poids de la corde pour la rendre plus simple, & pour ne point nous engager dans des calculs au-delà de ce que notre sujet demande; mais la méthode seroit la même, si on jugeoit à propos d'avoir égard au poids de la corde. Il est aussi à remarquer, qu'au lieu de concevoir une force en C, qui empêche la corde de glisser de C vers A, j'ai mieux aimé considérer la corde comme arrêtée par un clou, dont l'action

l'action devient de cette maniere précisément telle qu'étant diminuée tant soit peu, la corde glisseroit effectivement, au lieu que si on avoit voulu considérer à la place de l'action du clou une force réelle, qui retînt tout le systême en équilibre, il est manifeste qu'une telle force peut avoir une grande variation; si le poids, P, est, par exemple, de trois livres, la force directe d'une livre en C pourra peut-être déja empêcher la corde de glisser; mais tout le systême demeurera encore en équilibre, si on applique en C une force de deux livres, ou de trois, & même jusqu'à neuf livres, qui sera le dernier terme; car si on continuoit d'augmenter la force en C, la corde glisseroit alors en sens contraire, c'est-à-dire, de A vers C. On voit donc que l'état d'équilibre a une très-grande étendue: mais il ne sera question dans nos recherches, que du premier terme de cet état d'équilibre, c'est-à-dire, de la moindre force en C, qui puisse empêcher la corde de glisser de C vers A. Nous allons tirer à présent de notre solution générale, les Corollaires qui serviront à notre sujet, & qui seront autant de nouveaux théorêmes.

COROLLAIRE I.

§. V. Qu'on prenne d'abord tout l'arc, AC, & on aura $t = c^{\frac{-pa}{2\pi r}} P$: il suit de cette expression, que quand même, a, seroit infiniment grand, c'est-à-dire, que la corde fît un nombre infini de tours, la tension de la corde ne s'évanoüiroit jamais tout-à-fait, & qu'il faudroit toujours un petit contrepoids pour empêcher la corde d'être entraînée par l'action du poids P; mais ce contrepoids devient pourtant comme insensible après un petit nombre de tours.

COROLLAIRE II.

§. VI. La courbe des tensions de la corde est la Logarithmique ordinaire, & par conséquent les tensions dimi-

nueront en progreſſion Géométrique, lorſque les arcs augmentent en progreſſion Arithmétique. Comme cette vérité eſt très-eſſentielle à notre ſujet, j'ai jugé à propos de l'éclaircir par l'expérience qui ſuit.

EXPERIENCE.

§. VII. J'ai pris un cylindre de verre, & dont, par conſéquent, la ſurface étoit fort polie; j'ai donné à la corde qui paſſoit par-deſſus ce cylindre, un demi tour, & j'ai remarqué qu'en attachant à l'un des bouts un poids d'une livre, le plus petit contrepoids attaché à l'autre bout, étoit fort à peu près d'une demie livre. Après cela ayant fait faire à la corde un tour & demi ſur la ſurface du cylindre, & laiſſant le poids d'une livre à l'un des bouts, je n'avois plus beſoin que d'un contrepoids de deux onces pour empêcher le grand poids de deſcendre, & d'environ une demie once lorſque la corde faiſoit deux tours & demi; ce qui confirme notre théorême. Il eſt vrai que le ſuccès de toutes ces ſortes d'expériences n'eſt jamais préciſément le même, parce que ni la ſurface du cylindre, ni celle de la corde ne ſont parfaitement égales partout: cependant le réſultat de nos expériences a été tel, qu'il a viſiblement confirmé le théorême.

COROLLAIRE III.

§. VIII. Les ſurfaces de différens cylindres étant les mêmes & ſe ſervant d'une même corde, que l'on paſſe ſur des arcs ſemblables, les contrepoids qui pourront empêcher des poids égaux de gliſſer, ſeront égaux, puiſque de cette maniere les quantités $\frac{p}{\pi}$, $\frac{x}{r}$ & P étant les mêmes, les tenſions, t, ſeront auſſi les mêmes, quel que ſoit le diamétre du cylindre ſur lequel on paſſe la corde.

EXPERIENCE.

§. IX Pour confirmer cette vérité par une expérience, je me suis servi d'un tuyau de verre, dont la surface étoit par tout également polie, & qui avoit la figure d'un cône tronqué; & j'ai vû que le même contrepoids tenoit en équilibre le même poids, soit que j'aye passé la corde par dessus le tuyau à l'endroit où il étoit le plus large, ou bien à l'endroit où il étoit le plus étroit, & pour peu que j'aye diminué ce contrepoids, il étoit toujours entraîné par le gros poids.

COROLLAIRE IV.

§. X. Le reste demeurant le même, si l'on change le poids & le contrepoids, ils garderont la même proportion; par exemple, un poids double, triple, &c. du précédent sera tenu en équilibre par un contrepoids double, triple, &c. ce que j'ai encore confirmé par plusieurs expériences.

REMARQUE I.

§. XI. Tous ces Corollaires & toutes ces expériences nous font voir que les expériences qu'on fait en petit, ne sçauroient différer de celles qu'on pourroit faire en grand, & qu'ainsi nos propositions seront toujours vraies, quoiqu'on prenne de gros cables au lieu de cordes, des poids de 40000 livres ou au-delà, au lieu d'un poids de quelques livres, & qu'on passe le cable sur tel cylindre qu'on voudra; de sorte que le succès d'un petit modéle de la machine que je décrirai dans la suite, prouvera que la machine elle-même ne sçauroit manquer de réussir aussi, & de remplir entiérement l'intention de l'Académie.

REMARQUE II.

§. XII. J'ai cité ci-deſſus des expériences faites ſur des ſurfaces de verre : pour en avoir d'autres plus propres à notre ſujet, j'ai pris des cylindres d'un bois dur & dont la ſurface étoit beaucoup moins unie ; il m'a été facile de faire enſorte, que moyennant un demi tour de la corde, le contrepoids néceſſaire n'étoit plus que le quart du poids. Je crois pourtant que le cable appliqué au Cabeſtan ne diminuera pas tant le contrepoids, parce que les gros cables n'étant pas fort pliables, doivent être cenſés comme ayant une eſpéce d'élaſticité, qui en diminuant la preſſion du cable contre le cylindre, diminue par-là en même tems l'effet du frottement : c'eſt pourquoi je ſuppoſerai dans la ſuite, que le frottement du cable produit par un demi tour ſur le cylindre, n'ôte que les deux tiers du poids, & demande par conſéquent un contrepoids égal au tiers du poids pour empêcher le cable de gliſſer. Je ne fais cette ſuppoſition, que pour former les calculs ſur l'hypothéſe qui me paroît la plus naturelle ; quelque petit que ſoit le frottement, il n'en réſulte aucun inconvénient ſur la machine que je propoſerai.

REMARQUE III.

§. XIII. Comme le calcul des frottemens demande pour toutes les cordes & pour toutes les ſurfaces une expérience fondamentale, nous avons ſuppoſé dans la ſolution de notre problême (§. 3.) avoir été trouvé par expérience, que la corde miſe ſur une table horizontale, & chargée d'un poids π, ſouffre un frottement égal au poids p ; mais comme cette expérience n'eſt pas ſi facile à faire que celle du plus petit contrepoids qu'on peut attacher à la corde, qui fait un demi tour ſur le cylindre, pour l'empêcher de gliſſer, nous ſubſtituerons cette ſeconde expérience à la premiere : Suppoſant donc qu'on ait trouvé que pour un demi

tour de la corde le poids est au contrepoids comme n à 1, & que l'arc $\frac{x}{r}$ soit exprimé par un nombre de dégrés donné, que nous appellerons N, on voit que la formule qui est à la fin du troisiéme article, doit être changée en celle-ci, $t = n^{\frac{-N}{180}} P$ ou $t = P : n^{\frac{N}{180}}$.

Eclaircissons cette formule par quelques exemples.

Exemple I. Soit dans l'expérience fondamentale $n = 3$, qui me semble la supposition la plus naturelle pour les cables appliqués au Cabestan, c'est-à-dire, supposons que le cable appliqué à 180 dégrés du Cabestan, demande un contrepoids égal au tiers du poids, & qu'il faille trouver le contrepoids lorsque le cable embrasse 300 dégrés. Dans cet exemple il faut mettre $n = 3$, $N = 300$, & par conséquent $t = P : 3^{\frac{5}{3}} = 0.1603\, P$.

Exemple II. Soit $n = 4$, & qu'il faille trouver le contrepoids, lorsque la corde fait deux tours entiers : nous aurons $t = P : 4^{4} = \frac{P}{256}$.

Exemple III. Soit derechef $n = 3$; soit outre cela $P = 40000$ livres; que le cable fasse trois tours entiers sur le Cabestan : on trouvera que le contrepoids nécessaire pour empêcher le cable de glisser, est $= \frac{40000}{729} = 54\frac{7}{8}$ livres.

PROBLEME.

§. XIV. Trouver le nombre de dégrés que le cable doit embrasser, pour que le contrepoids soit égal à un poids donné.

SOLUTION.

Nous avons trouvé dans le précédent article $t = P : n^{\frac{N}{180}}$; & si l'on suppose dans cette équation t être donné, & N le nombre cherché, on trouvera $n^{N} = \left(\frac{P}{t}\right)^{180}$, & par conséquent $N = (180 \log. P - 180 \log. t) : \log. n$.

REMARQUE.

§. XV. Comme pour la sûreté du désancrage il faut prendre toutes les quantités dans leur plus grande valeur, nous remarquerons que le poids de la maîtresse ancre sur les plus grands vaisseaux, peut aller jusqu'à 12000 livres; cependant comme une grande partie en est de bois, & que la pesanteur spécifique du bois est bien plus petite que celle du fer, on peut compter que l'ancre perd le quart de son poids dans l'eau, & qu'elle n'y pése plus que 9000 livres; mais une telle ancre peut tenir si fort au fond de la mer, qu'il faut peut-être une force double pour l'en tirer, ce qui feroit 18000 livres. Outre ce grand poids il faut considérer encore celui que le cable a sous l'eau; le poids de tout le cable peut aller jusqu'à 15000 livres; mais l'ancre étant à pic, il n'y aura tout au plus que la moitié du cable depuis l'écubier jusqu'au fond de la mer; nous ne mettrons donc que 8000 livres; de ces 8000 livres il faut encore retrancher les trois quarts, à cause de la pesanteur spécifique du cable dans l'eau; il ne reste donc que 2000 livres, qui ajoutées aux 18000 livres, font 20000 livres. Enfin il faut ajouter encore à ces 20000 livres le frottement du cable contre la surface de l'écubier, qui peut l'augmenter presqu'au double. Pour nous assurer donc de la plus grande résistance, mettons $P = 40000$ livres; supposons après cela que l'on n'emploïe pour contrepoids que 80 livres, c'est-à-dire, que l'effort avec lequel on tire le cable en le dévidant, soit tout au moins égal à 80 livres, & faisons $n = 3$; avec ces suppositions avec lesquelles on peut sans doute être sûr de l'effet du Cabestan, on trouve $N = 1018$ dégrés, qui font deux tours & 298 dégrés.

EXPERIENCE

Sur l'élévation des poids en tournant le Cylindre.

§. XVI. Nous avons considéré jusqu'ici le cylindre comme immobile, & nous avons déterminé là-dessus le plus petit contrepoids requis pour empêcher le cable de glisser. Voyons maintenant ce qui doit arriver lorsqu'on tourne le cylindre dans le dessein d'élever le poids. Or j'ai observé, lorsque le contrepoids étoit précisément tel que nous l'avons déterminé, que pour peu qu'on tournât le cylindre, le poids entraînoit le contrepoids. La raison n'en est pas difficile à voir; car on ne sçauroit tourner le cylindre sans y exciter quelques petits chocs ou tremoussemens, qui augmentent l'effet du poids, outre cela le cable ou la corde n'est jamais parfaitement égale, & s'il se présente une partie de corde qui souffre moins de frottement, le poids ne sçauroit manquer de descendre & de faire glisser la corde. Mais dès qu'on augmente un peu le contrepoids, on pourra tourner le cylindre, faire monter par ce moyen le poids d'un côté & dévider la corde de l'autre; & j'ai remarqué qu'en augmentant le contrepoids du quart ou du tiers, l'élévation du poids en tournant se fait très-sûrement, sans que la corde courre aucun risque de glisser, ni le poids de descendre.

REMARQUE.

§. XVII. On voit par cette expérience, que pour appliquer le calcul de l'article 15. où l'on n'a cherché le plus petit contrepoids que dans la supposition que le cylindre demeuroit en repos, à notre cas, où le cylindre est tourné en élevant le poids d'un côté & dévidant la corde de l'autre, il faut augmenter le contrepoids qu'on y a supposé de 80 livres, d'environ 20 livres, & supposer par conséquent que le cable soit tiré avec une force d'environ 100 livres; ou bien si on veut laisser la force de 80 livres, il faudra

augmenter le nombre de dégrés que la corde embraſſe ſur le cylindre d'environ 36 dégrés, de ſorte que la corde faſſe près de trois tours au lieu de deux tours & 298 dégrés.

Si dans l'article 15 nous avions poſé $n = 2$, N deviendroit ici égal à 1674 dégrés, c'eſt-à-dire, qu'il faudroit que la corde fît ſur le cylindre environ quatre tours & deux tiers.

§. XVIII. Tant que la corde ne fait pas un tour entier ſur le cylindre, & que les deux bouts ſont tirés perpendiculairement à ſon axe & dans le plan de l'arc que la corde embraſſe, il eſt évident qu'en tournant le cylindre, la corde qui ſe dévide deſſus, demeurera toujours dans le même plan, ſans s'approcher ni s'éloigner de l'une des extrémités du cylindre.

§. XIX. Mais ſi les directions ſuivant leſquelles on tire la corde, ne ſont pas dans le plan de l'arc que la corde fait d'abord ſur le cylindre, il eſt encore évident que la corde appliquée au cylindre, changera de place en tournant le cylindre, juſqu'à ce que les directions des forces ſoient dans le plan de cet arc.

§. XX. Il eſt pourtant aiſé d'éviter ce déplacement malgré l'obliquité des forces, & voici comment: On peut faire tout autour du cylindre une entaille en forme de couliſſe telle que l'on voit aux poulies, dans laquelle la corde s'enveloppe d'un côté & ſe développe de l'autre. Cette couliſſe pourroit être ſi profonde, que quand même l'obliquité des forces ſeroit de 20 ou de 30 dégrés & au delà, la corde n'en pourroit jamais ſortir pendant qu'elle ſe dévideroit. Quoique cette vérité ſaute aux yeux, je n'ai pas laiſſé de la confirmer par pluſieurs expériences, trop faciles à faire, & trop claires par elles-mêmes pour mériter d'être rapportées. Cependant l'obliquité que notre ſyſtême demande entre la direction des forces & le plan de la couliſſe, eſt à peine ſenſible, & peut-être rendue auſſi petite qu'on le ſouhaite; mais quelque petite qu'elle ſoit, ces couliſſes circulaires ſeront toujours néceſſaires pour la machine que nous donnerons

nerons ; & en font une partie essentielle.

La profondeur de la couliſſe peut être priſe égale au diamétre du cable, ſa plus grande largeur égale au double de ce diamétre, & ſa ſection perpendiculaire formée en demi cercle. L'effet de cette couliſſe ſera, que le cable en occupera toujours le milieu, excepté l'endroit où il eſt prêt à quitter le cylindre, auquel endroit le cable ſe mettra tant ſoit peu obliquement, ſans pourtant atteindre le bord de la couliſſe ; il n'y aura que cette petite partie inſenſible qui ſera obligée par la manœuvre de gliſſer imperceptiblement. On comprendra plus clairement cette méchanique, en décompoſant la force qui tire le cable, en deux forces, dont l'une étant perpendiculaire au cylindre & dans le plan du milieu de la couliſſe, ne fait aucun effort, pendant que l'autre force parallele à l'axe du cylindre (qui eſt extrêmement petite à cauſe de l'imperceptible obliquité que notre ſyſtême demande) eſt très-facilement contrebalancée par l'inclinaiſon des côtés de la couliſſe vers l'axe du cylindre, pour peu que le cable s'écarte du milieu de la couliſſe.

Si je me ſuis un peu étendu ſur un article auſſi clair que celui que nous venons d'établir, ce n'a été que pour faire voir avec quel ſcrupule j'ai examiné juſqu'aux plus petites circonſtances.

SECONDE PARTIE.

§. I. POur en venir à préſent à notre ſujet, je remarque d'abord que le Cabeſtan ordinaire eſt une machine ſi ſimple, ſi ſolide, d'un uſage & d'un maniment ſi aiſé, qui occupe ſi peu de place, ſi commode en un mot, que ſi en le conſervant, on peut remédier aux inconvéniens auſquels il eſt aſſujetti, on ne doit pas ſe flatter de pouvoir imaginer aucune autre machine qui lui ſoit préférable.

§. II. Plutôt donc que de chercher une autre eſpéce de Cabeſtan, tâchons, s'il ſe peut, de perfectionner celui dont

on s'est servi jusqu'ici ; mais comme on ne doit jamais compter d'obtenir quelque avantage tout-à-fait gratuitement, je prévois qu'il faudra se résoudre à relâcher quelque chose de la simplicité du Cabestan ordinaire, & à le rendre un peu plus composé.

§. III. Voyons d'abord quel est l'usage de cette machine, & quelles sont les incommodités ausquelles nous devons apporter du remede, afin de marcher plus sûrement dans la route que nous tiendrons.

Le *Cabestan* est, comme on sçait, un cylindre de bois dressé à plomb sur le pont du vaisseau, que l'on peut tourner sur une plaque de fer appellée *Ecuelle*, par le moyen des leviers qui y sont appliqués, & il sert à lever des ancres ou d'autres fardeaux ausquels sont amarrés les cables, que l'on fait passer par-dessus ce cylindre, & que l'on dévide en même tems qu'on vire au Cabestan ; le *grand Cabestan*, ou le *Cabestan double* que nous avons particulierement en vue, est posé sur le premier pont, & s'éléve jusqu'à quatre ou cinq pieds de hauteur au-dessus du deuxiéme.

§. IV. On n'arrête point le garant du cable sur la surface du cylindre, parce qu'à mesure que le cylindre est tourné, des hommes destinés à recueillir le cable le dévident de dessus cette surface en le tirant de toutes leurs forces, & pour empêcher qu'il ne glisse, on en entortille un bout sur le tour du Cabestan avant que d'en commencer la manœuvre ; car de cette maniere quoique le poids du fardeau à lever surpasse de beaucoup la force des hommes qui dévident le cable, il ne sçauroit cependant la surmonter & faire glisser la partie du cable roulée autour du cylindre à cause du frottement de cette partie du cable contre la surface du Cabestan.

§. V. Ce frottement, que l'on peut nommer *virtuel*, parce qu'il ne se fait pas actuellement, sera plus grand sans doute si le cable fait plus de tours autour du cylindre (*voy. ci-dessus Part. I. §. 3.*) ; & nous avons vû (*Part. I. §. 17.*) que pour être bien assuré que le cable ne glissera pas, il faut lui

donner près de trois tours autour du Cabeſtan.

§. VI. Pour ce qui eſt des inconvéniens qui accompagnent l'uſage du Cabeſtan ordinaire, & dont le programme pour l'année 1739. fait mention, ils conſiſtent en ce qu'il faut choquer pluſieurs fois ou rehauſſer le cordage qui ſe dévide ſur l'eſſieu de cette machine, pour éviter qu'il ne s'embarraſſe; qu'à chaque fois qu'on choque il faut arrêter le mouvement de la machine, prendre des boſſes ſur le cordage, dévirer le Cabeſtan pour mollir la partie du cordage qui eſt ſur l'eſſieu; relever le cordage, le roidir de nouveau, & enfin ôter les boſſes pour remettre le Cabeſtan en état.

§. VII. J'obſerverai ici que tous ces inconvéniens ont leur ſource dans le premier, & qu'il ſuffit d'éviter celui-ci pour prévenir tous les autres; de ſorte que pour ſatisfaire à la demande de l'Académie, je n'ai qu'à me propoſer la ſolution de ce problême: *Elever ou trainer un poids quelconque, moyennant un contrepoids auſſi petit que l'on voudra par un eſpace quelconque, avec une force & d'un mouvement conſtamment égaux & uniformes.*

§. VIII. Ce problême renferme deux conditions; la premiere eſt, *que le cordage ſe dévide ſur le cylindre* (puiſque nous nous propoſons d'employer le cylindre,) c'eſt-à-dire, que de l'application du cordage ſur l'eſſieu de la machine, il réſulte un frottement aſſez grand pour que le cable ne puiſſe pas gliſſer pendant qu'on tourne le cylindre, ſans quoi on ne pourroit pas élever ou trainer le fardeau. La ſeconde condition eſt, *que la manœuvre ſe faſſe d'un mouvement continu*, afin qu'on ne ſoit pas obligé de choquer; & c'eſt dans la combinaiſon de ces deux conditions que conſiſte la difficulté du problême; car quoiqu'il ſoit très-aiſé de ſatisfaire à la premiere en entortillant le cable pluſieurs tours ſur le cylindre, il eſt en même tems manifeſte que le cordage faiſant pluſieurs tours, & par conſéquent n'étant pas dans un même plan, ſi on vire le cylindre, à chaque tour qu'il fait, le cable eſt obligé de

descendre de toute sa grosseur, & qu'il sera bientôt parvenu au bout du cylindre d'où il faudra le rehausser, ce qui est contraire à la seconde condition.

§. IX. Il s'agit cependant de satisfaire à ces deux conditions à la fois, & suivant qu'on part de l'une ou de l'autre, il se présente deux voies à prendre pour y parvenir; car on peut se proposer, ou de trouver le moyen de plier de la quantité de plusieurs tours le cordage qui passe sur le cylindre, sans qu'il puisse descendre pendant que le cylindre est viré, & par conséquent sans qu'on soit obligé de le rehausser; ou bien d'empêcher que le cordage ne glisse quoiqu'il ne fasse pas plusieurs tours sur le cylindre.

§. X. Il ne seroit point impossible d'obtenir ce dernier but; j'imagine même plusieurs expédiens pour cela, qui consisteroient à produire dans le cable qui passe sur l'essieu du Cabestan, un frottement assez grand par le moyen de quelque pression extérieure, pour empêcher qu'il ne pût glisser, quoiqu'il n'embrassât, par exemple, qu'un demi tour du cylindre. Je me dispense néanmoins de proposer ici mes idées là-dessus pour les mêmes considérations qui ont empêché il y a deux ans l'Académie de donner le prix à quelques Pieces, qui lui avoient paru utiles & ingénieuses, c'est-à-dire, *à cause de la multiplicité des vues qu'il faut remplir, tant par rapport aux différentes circonstances où on se trouve sur un vaisseau, qu'aux hommes qui en exécutent la manœuvre, & dans une machine, qui, avec cela, doit être simple, solide, expéditive, & d'une pratique tout autrement dégagée d'embarras & à l'abri de tout accident, qu'elle ne devroit être sur terre, où l'on a le loisir, l'espace & les commodités nécessaires pour y remédier.*

§. XI. Il ne me reste donc qu'à m'attacher à chercher quelque moyen de plier le cable de la valeur de plusieurs tours, sans que pour cela il descende à mesure qu'on tourne le cylindre sur lequel il se dévide. Ce moyen sera trouvé, si on peut faire ensorte que le cordage demeure toujours dans le même plan, quelque nombre de tours qu'il

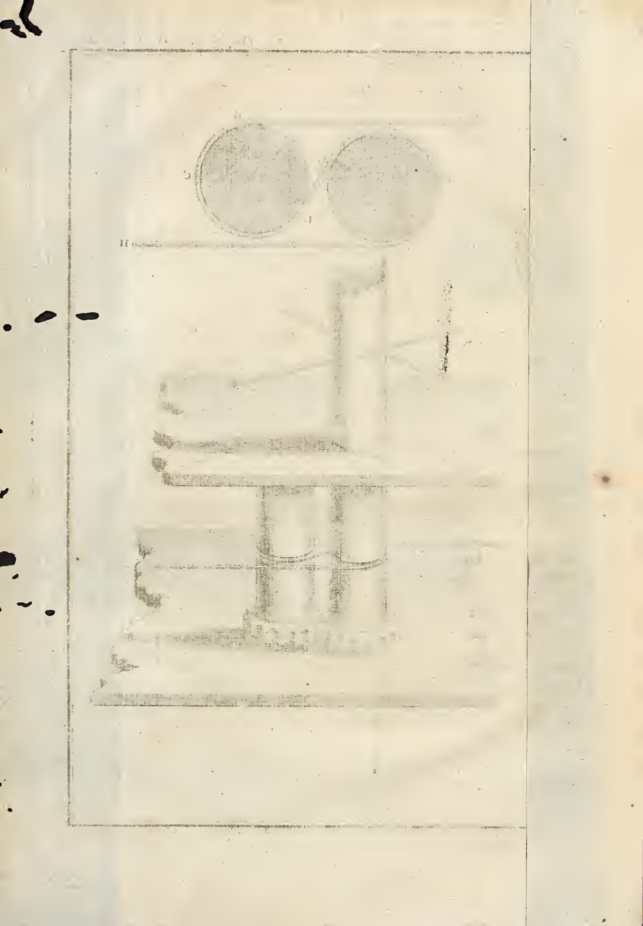
Fig. 2.

A B E F C D G H

Fig. 1

m M C A D E P

Fig. 3.



faſſe. Or il eſt viſible que la choſe ne peut s'exécuter qu'en deux manieres ; il faut pour cela que le cable ſe plie, ou en ſpirale, comme, par exemple, le reſſort d'une montre, ou bien en ſerpentant ; & chacun voit encore que la premiere de ces deux façons ne peut pas ſervir pour notre deſſein, c'eſt pourquoi il faudra nous arrêter à la ſeconde.

§. XII. Mais comme il eſt impoſſible de replier un cordage en ſerpentant ſur un même cylindre, il s'enſuit que nous ſerons obligés d'en employer pour le moins deux ; cependant nous verrons qu'il n'en faudra pas davantage non plus, & de la façon que nous arrangerons ces deux cylindres, ils ne rendront pas la machine trop compoſée.

§. XIII. Soyent donc (*Fig.* 2.) les cercles *BCDEFG*, les ſections horizontales ou perpendiculaires à l'axe de deux cylindres poſés verticalemennt l'un à côté de l'autre ; ſoit de plus *ABCDEFGH* le cordage à dévider, qui paſſant ſur le grand arc *BCD* du premier cercle, ſe replie enſuite en ſens contraire ſur un arc ſemblable *EFG* du ſecond cercle. Il eſt clair que ſi les deux cercles ſe touchoient, & que la ligne qui joint leurs centres fût parallele aux tangentes *AB*, *GH*, ces deux arcs *BCD*, *EFG* que le cable embraſſe, vaudroient enſemble un tour & demi ; mais comme les cercles ne ſe touchent pas tout-à-fait, & que la ligne qui joint leurs centres n'eſt pas tout-à-fait parallele non plus aux tangentes *AB*, *GH*, ces deux arcs *BCD*, *EFG*, vaudront enſemble véritablement un peu moins d'un tour & demi, mais toujours plus d'un tour ; par conſéquent (ſuppoſant pour un peu de tems que le fardeau qui doit être élevé ne ſoit, par exemple, que dix fois plus que ſon contrepoids) ſi les cercles, ou bien les cylindres dont ils ſont les ſections, ſont tournés par le moyen des leviers, l'un de *B* en *C*, & l'autre en ſens contraire de *E* en *F*, le frottement qu'ils ſouffriront, ſera ſuffiſant pour empêcher le cable de gliſſer ; ce cable ſe dévidera donc deſſus, & le bout *GH* s'allongera d'un côté, pendant que de l'autre côté le bout *AB* ſe raccourcira ; de cette façon le far-

Fig. 2.

deau attaché à l'extrémité *A* s'approchera continuellement, & l'on obtiendra ce que l'on demande.

§. XIV. Avant que de passer outre, je dois prévenir ici une objection qu'on pourroit me faire, & qui se présente même assez naturellement. On pourroit me demander comment j'appliquerai les leviers, ou plutôt comment je ferai tourner par leur moyen deux cylindres qui sont si proches l'un de l'autre, & si chacun de ces cylindres n'empêchera pas que l'autre ne puisse être viré.

§. XV. Pour lever cette difficulté, je fais attention que l'un de ces cylindres ne servant qu'à plier le cable, il n'est pas nécessaire qu'il s'éléve aussi haut que l'autre, & que pourvû qu'il s'éléve un peu plus qu'à la hauteur du cable, cela suffit. Les deux cylindres étant donc posés sur le premier pont, & dévidant le cable un peu au-dessous du deuxiéme, on pourra ne faire passer que le grand cylindre par-dessus ce second pont, & y appliquer là des leviers, au moyen desquels on le fera tourner, comme on fait le Cabestan ordinaire.

§. XVI. Quoique de cette maniere la difficulté ne subsiste plus, la machine ne sera pas en état de servir encore; car l'objection à laquelle nous venons de répondre, nous conduit à une autre qui mérite qu'on y fasse attention; elle consiste en ce que les leviers n'étant appliqués qu'au grand cylindre, le petit ne pourra tourner qu'entant que le cable se dévide; or le grand cylindre étant viré, ne souffre d'autre frottement que celui qu'il reçoit de la partie du cable qui l'embrasse; & comme le cable ne fait pas seulement un tour entier, ce frottement ne sera pas suffisant pour l'empêcher de glisser; d'où il arrivera que le grand cylindre tournera seul; le petit demeurera immobile, & par conséquent ne souffrira aucun frottement, le cable glissera & ne se dévidera point.

§. XVII. Cette objection est très-fondée; car quoique nous ayons dit que le cable se pliant sur les deux cylindres de la valeur de plus d'un tour, il a assez de frottement

pour ne point glisser, (en supposant que le fardeau ne soit que dix fois plus grand que son contrepoids) cela n'est vrai que dans la supposition que les deux cylindres tournent à la fois; cependant, comme nous l'avons remarqué, le mouvement du grand cylindre, ou le frottement qui en résulte, n'est pas capable de faire tourner le petit; donc en effet celui-ci demeurera immobile, il n'aura point de frottement, c'est comme s'il n'y étoit pas, & l'objection que nous venons de faire subsistera.

§. XVIII. On voit bien que pour prévenir cet inconvénient, il faut faire ensorte que les deux cylindres soient obligés de se mouvoir ensemble indépendamment du frottement, & cela ne sera pas fort difficile; l'exemple des rouages des montres nous en fournit le moyen; nous y voyons le mouvement d'une seule piece, produire celui de toutes les autres.

§. XIX. En effet, si on garnit les deux cylindres par le bas, d'une roue de bois, horizontale, dentée & bien forte, de façon qu'en tournant, les dents de l'une s'engrenent dans celles de l'autre; il est évident que la premiere ne sçauroit tourner sans obliger l'autre à tourner en même tems & en sens contraire, comme on le demande. *Voy. la fig. 3.* *Fig. 3.*

§. XX. On trouvera peut-être à redire encore, que de cette maniere le cable se dévide entre les deux ponts. Quoi qu'il en soit, si on aime mieux qu'il se dévide au-dessus du deuxiéme, on pourra poser le petit cylindre sur ce pont-là, & appliquer les leviers au grand cylindre entre les deux ponts, auquel cas il faudra que les roues des cylindres se trouvent au-dessus du second pont. *Voy. la fig. 4.* *Fig. 4.*

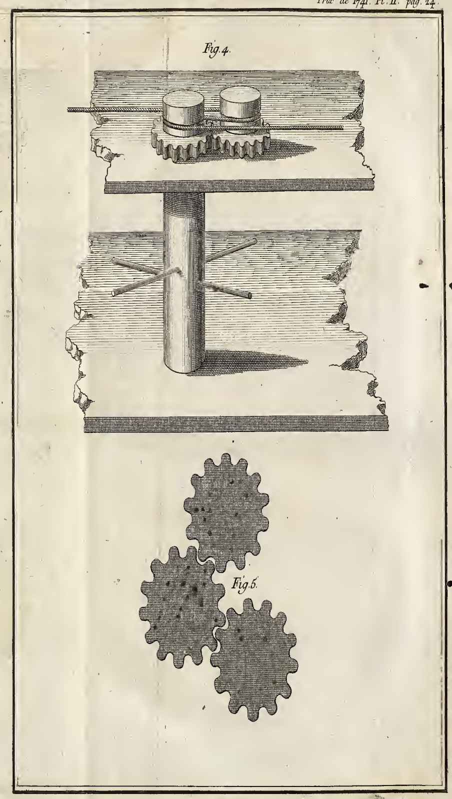
§. XXI. Pour éviter la confusion d'idées, & pour n'être pas obligés de dire trop de choses à la fois, nous avons supposé jusques ici que le fardeau qui doit être élevé, ne soit que dix fois plus grand que son contrepoids. La machine que nous venons de trouver seroit très-bonne, si cette supposition étoit juste, mais il s'en faut bien qu'elle ne le soit, puisque nous voulons qu'au moyen d'un contrepoids

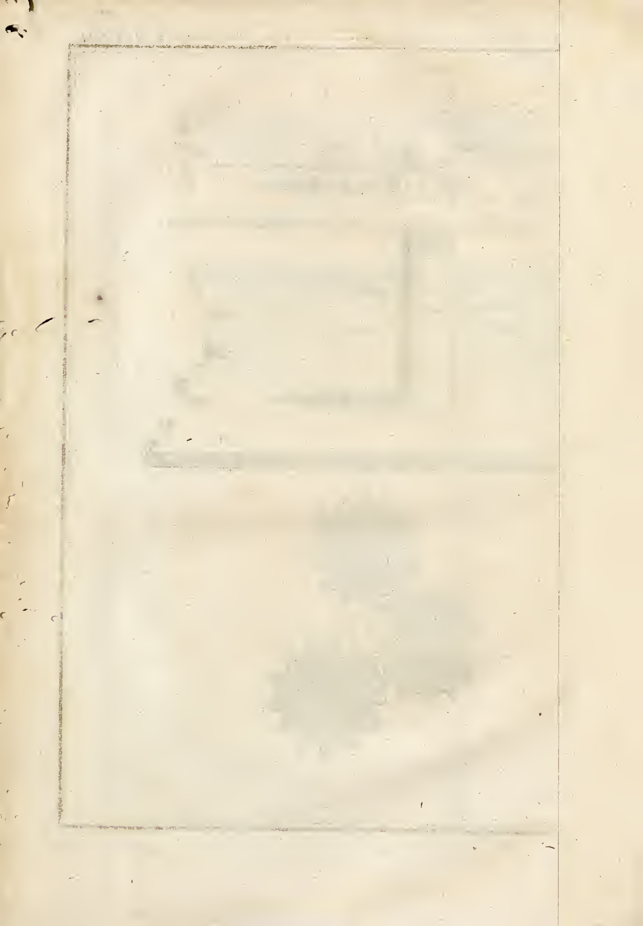
de 80 livres, on puiſſe élever un fardeau de 40000 livres; c'eſt-à-dire, que le fardeau ſoit cinq cens fois auſſi grand que ſon contrepoids.

§. XXII. On voit bien à la vérité, qu'on pourroit obtenir cela en multipliant ſuffiſamment le nombre des cylindres, ſur leſquels le cable ſe plieroit & replieroit en ſerpentant; & je remarquerai ici en paſſant, que ſi au lieu de deux cylindres on en prenoit, par exemple, trois, qu'on *Fig. 5.* les rangeât comme le marque la figure 5. où *A*, *B*, *C*, repréſentent les trois roues de ces cylindres, il ne faudroit pas que les dents de la premiere roue s'engrénaſſent dans celles de la troiſiéme, parce que les directions de leur mouvement étant contraires l'une à l'autre, ces deux roues s'entrempêcheroient mutuellement de tourner; il faudroit donc laiſſer une petite diſtance entre la premiere roue & la troiſiéme, ou bien faire les dents de la ſeconde plus longues que celles des deux autres, afin que quoique la premiere ne touchât pas la troiſiéme, elles ne laiſſaſſent pas de s'engrener l'une & l'autre dans la ſeconde.

§. XXIII. Cependant comme il faudroit pour le moins cinq ou ſix de ces cylindres pour produire dans le cable un aſſez grand frottement, notre machine deviendroit trop compoſée & trop embarraſſante. Pour mettre donc la derniere main à notre invention, nous allons indiquer un moyen d'obtenir le même effet de deux cylindres ſeuls, qu'on obtiendroit ſans cela de tel nombre de cylindres qu'on voudroit.

§. XXIV. Que l'on ſe rappelle ici ce que nous avons dit dans le dernier article de notre premiere partie, ſçavoir, qu'une corde ne faiſant pas tout-à-fait un tour ſur un cylindre, quoique les directions ſuivant leſquelles elle eſt tirée, ne ſoient pas tout-à-fait dans le plan de l'arc qu'elle fait d'abord ſur le cylindre, on peut pourtant facilement éviter que la corde ne ſe déplace pendant qu'on tourne le cylindre, en faiſant autour du cylindre une couliſſe circulaire d'une certaine profondeur & largeur, dans laquelle


Fig. 4.
Fig. 5.



la corde se dévide. Cela étant, voici ce que j'ai imaginé.

§. XXV. C'est de faire autour de chacun de ces deux cylindres un nombre suffisant de ces coulisses, telles que je les ai décrites dans l'article que je viens de citer ; elles seront toutes horizontales, & par conséquent paralleles entre elles & aussi proches qu'il se pourra les unes des autres. Mais afin que l'obliquité du cable qui passe d'un cylindre à l'autre soit partagée & par tout la même, il ne faut pas que les coulisses qui se répondent dans les deux cylindres, soient de niveau, mais que la premiere coulisse du second cylindre se trouve entre les deux premieres de l'autre. Alors faisant passer le cable dans la premiere coulisse du premier cylindre, puis en le repliant avant qu'il ait fait un tour entier dans la premiere coulisse de l'autre, de-là dans la seconde coulisse du premier, & ainsi de suite, il est manifeste qu'on pourra augmenter le frottement autant qu'on voudra, puisque chaque coulisse vaudra un cylindre & même davantage, car le cable embrasse un plus grand arc sur une coulisse, que sur un de ces cylindres rangés comme dans la figure 5. *Fig. 5.*

§. XXVI. Nous voilà parvenus enfin à une machine qui ne sçauroit manquer d'avoir toutes les qualités requises, & contre laquelle je ne vois pas qu'il y ait plus rien à objecter.

Cette machine (*voy. la fig. 6.*) consiste dans deux cylindres de bois, mobiles chacun dans son écuelle, posés tous deux verticalement sur le premier pont l'un à côté de l'autre, ou bien l'un derriere l'autre, selon que la commodité l'exigera, & garnis chacun par le bas, d'une roue de bois horizontale & dentée, dont les dents de l'une s'engrénent dans celles de l'autre ; dans la surface de chacun de ces deux cylindres, sont entaillées plusieurs coulisses circulaires & horizontales, autour desquelles le cable est enveloppé d'abord en serpentant d'un cylindre à l'autre ; de ces deux cylindres il n'y en a qu'un qui s'éleve par-dessus le deuxiéme pont ; à ce grand cylindre doivent être appliqués *Fig. 6.*

au-dessus du second pont des leviers, par le moyen desquels on pourra le virer; alors les deux cylindres tourneront à la fois à cause de leurs roues, & en tournant ils dévideront le cable entre les deux ponts.

§. XXVII. Ce Cabestan a tous les avantages du Cabestan ordinaire, sans en avoir les inconvéniens; il satisfait d'abord non-seulement à la condition principale, mais encore à toutes les autres vues qu'il faut remplir tant par rapport aux différentes circonstances où l'on peut se trouver sur un vaisseau, qu'aux hommes qui en exécutent la manœuvre : avec cela cette machine est simple, solide, expéditive, & d'une pratique entiérement dégagée d'embarras; elle n'est guéres plus composée que le Cabestan ordinaire, & elle n'est aucunement embarrassante, puisque des deux cylindres qui la composent il n'en paroît qu'un au-dessus du deuxiéme pont, & que la manœuvre en est tout-à-fait la même, si ce n'est qu'elle se fait sans aucune interruption. D'ailleurs il me paroît démontré qu'il est impossible de construire une machine plus simple qui satisfasse aux conditions proposées; car nous avons vû qu'il faut que le cable fasse d'abord plusieurs tours pour souffrir le frottement nécessaire; or je ne vois pas qu'on puisse employer pour cet effet moins de deux cylindres, si on ne veut tomber dans les mêmes inconvéniens qu'il s'agit d'éviter.

§. XXVIII. J'ose rapporter encore parmi les avantages de notre Cabestan, qu'il ne différe que très-peu de celui dont on s'est servi jusques ici, & que j'ai tâché de conserver le plus qu'il m'a été possible. Nous avons, & avec raison, une certaine affection pour tout ce qui nous a servi utilement pendant long-tems, & nous ne nous résolvons qu'avec peine à le quitter, même pour de plus grands avantages qu'on nous promet, parce que ces avantages sont presque toujours fort incertains; quelque sûre & quelque immanquable qu'une invention paroisse à l'Inventeur, il se rencontre dans son exécution des obstacles ausquels il n'avoit pas songé.

§. XXIX. Mais, ce qui est l'essentiel, l'invention que nous venons de proposer est confirmée & approuvée par l'expérience. J'ai fait faire un petit modéle de mon Cabestan, que l'on voit assez bien représenté dans la figure 6. qui a été dessinée d'après lui; & les expériences que j'ai faites avec ce modéle, ont eu un succès auquel, malgré toute ma confiance, je m'attendois à peine. Pour être plus sûr de l'effet de la machine, j'avois ordonné expressément au Tourneur de faire les coulisses de mon modéle fort polies; aussi l'étoient-elles autant que du verre, car la corde faisant un demi tour sur une de ces coulisses, il falloit un contrepoids égal, pour le moins, à la moitié du poids pour le tenir en équilibre; le petit cylindre, y compris la roue, étoit long d'un peu plus de huit pouces, & l'autre à proportion; le diamétre des coulisses étoit d'un peu plus de deux pouces, & égaloit à peu près la distance d'un cylindre à l'autre; la corde embrassoit par conséquent sur chaque coulisse les deux tiers de la circonférence; la plus grande largeur des coulisses étoit de trois lignes, & triple de leur profondeur, de même que de l'épaisseur de la corde; enfin il y avoit toujours entre deux coulisses voisines dans chaque cylindre un intervalle de plus de deux lignes. On auroit pû faire les coulisses moins larges, plus profondes & plus serrées, pour s'assurer davantage de leur effet; mais je voulois mettre les choses au pis. Après avoir donc enveloppé la corde sur sept à huit coulisses, de sorte qu'elle touchoit environ 1800 ou 1900 dégrés; je levois avec cette machine sans aucune difficulté ni embarras, par un mouvement & une manœuvre uniforme, & constamment les mêmes, un poids de trente livres moyennant un contrepoids d'une once; ce qui prouve non-seulement le succès infaillible de la machine, mais s'accorde encore très-bien avec ce que nous avons dit ci-dessus. (*Partie I. §. 17.*) Je souhaite seulement que Messieurs les Commissaires fassent assez d'attention à ce que je viens de leur proposer pour vouloir en faire eux-mêmes l'épreuve, & j'ose me flatter *Fig. 6.*

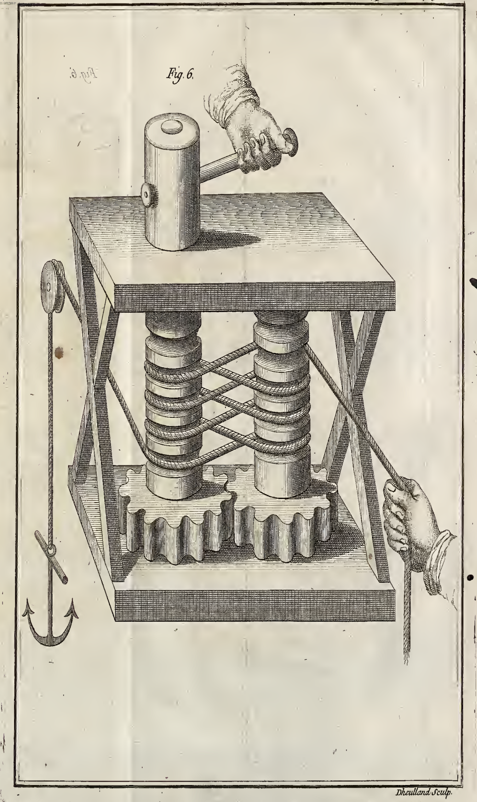
qu'ils n'en seront pas moins satisfaits que je l'ai été; j'aurois eu l'honneur de leur présenter mon modéle, si j'avois été à portée de le faire.

§. XXX. Je n'ai consideré jusques ici que le Cabestan double; mais j'ai averti à l'avance que ce que j'en dirois pourroit être appliqué aussi au simple. Cependant je ne dois pas celer une chose, sçavoir, que le Cabestan simple étant dressé sur le second pont, on sera obligé de faire une espece d'échaffaudage qui couvre son petit cylindre, & sur lequel les conducteurs des leviers puissent marcher autour du grand cylindre. Cela paroît embarrassant, je l'avoue; c'est aussi pourquoi je conseillerois en ce cas-là, qu'au lieu de ce Cabestan, on se servît plutôt d'un virevaut composé de deux cylindres horizontaux, car rien n'empêche qu'on ne puisse employer deux cylindres au virevaut aussi bien qu'au Cabestan; & c'est aussi en guise de virevaut que je me suis servi du petit modéle avec lequel j'ai fait les expériences de l'article précédent.

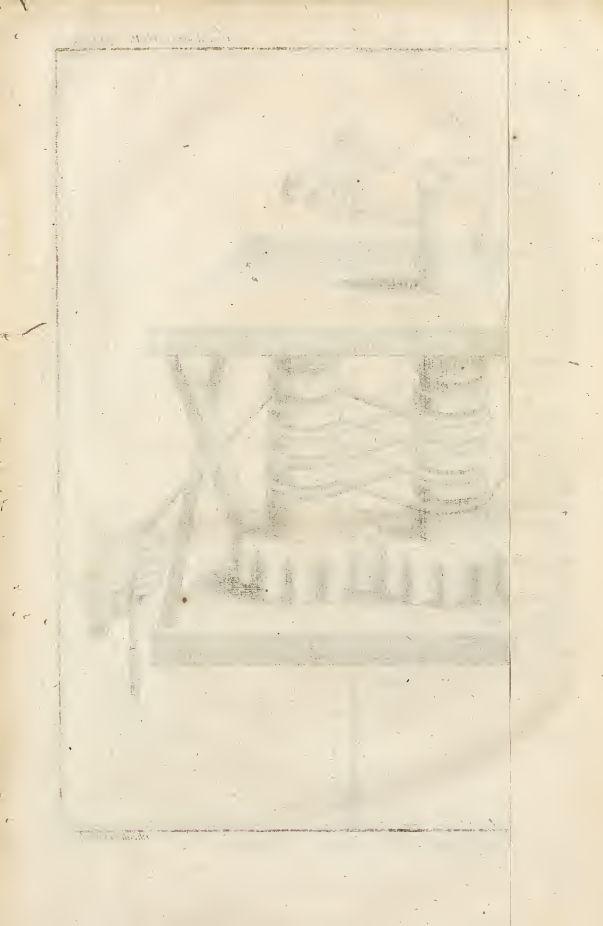
§. XXXI. Il y auroit encore un autre moyen d'éviter cet embarras de l'échaffaudage, en se servant de deux cylindres de même hauteur, au lieu d'un grand & d'un petit, mais qui seroient placés à une telle distance l'un de l'autre, qu'on pût appliquer à tous deux des leviers, dont la longueur n'empêchât pas que les cylindres ne pussent être tournés; alors on pourroit se passer en même tems des roues qui sont au bas des cylindres, & les conducteurs des leviers pourroient marcher sur le même pont sur lequel ces cylindres sont posés.

§. XXXII. Je me dispense au reste d'ajouter ici plusieurs autres petits avertissemens qu'il y auroit à donner sur la machine que je viens de proposer, parce qu'ils sont tous d'une nature à ne pouvoir échapper à ceux qui devroient l'exécuter, supposé qu'elle eût le bonheur d'être goûtée.

FIN.



Dheulland Sculp.



DISSERTATION

SUR LA

MEILLEURE CONSTRUCTION

DU

CABESTAN.

Cette Piece est une des quatre entre lesquelles le Prix double a été partagé.

Pressa momordit humum, superas nunc gaudet ad auras
Anchora judicio tendere nostra tuo.

DISSERTATION
SUR LA
MEILLEURE CONSTRUCTION
DU CABESTAN.

Pressa momordit humum, superas nunc gaudet ad auras
Anchora judicio tendere nostra tuo.

I°. *PRELIMINAIRES.*

§. I. DANS la question que l'Académie Royale des Sciences a proposée pour l'année 1739. en vue d'enrichir & de perfectionner la navigation, il s'agit de la meilleure construction du Cabestan: machine qui sert dans un navire à élever de grands fardeaux, & principalement à lever les ancres. Car cette machine, dans l'état où elle se trouve à présent, est sujette à beaucoup d'inconvéniens, dont les principaux sont, que la tournevire ou l'autre cordage venant à être roulé jusqu'au bout de l'essieu du Cabestan, & à le remplir, on est à diverses reprises obligé pour choquer la tournevire, & par-là de suspendre l'opération, ce qui la rend en premier lieu difficile & pénible, & en second lieu, trop lente en plusieurs rencontres. C'est pourquoi,

pour satisfaire d'une maniere claire & distincte à cette question, il est à propos de la diviser en deux parties, dont la premiere roulera sur les inconvéniens qu'on vient de marquer, & laquelle par conséquent exige une telle solution, où l'on indique des moyens de les éviter entiérement, ou au moins de les diminuer le plus qu'il sera possible. Mais à l'autre partie de la question proposée, on satisfera par la construction d'une machine, au moyen de laquelle on puisse lever l'ancre ou autre fardeau, le plus promptement qu'il se peut, en employant la même force.

§. II. D'abord il paroît que cette question est uniquement du ressort d'un Machiniste, & que ni l'Analyse, ni la Géométrie ne peuvent être d'aucun secours pour la résoudre : & peut-être on ne s'attendra qu'à une solution purement méchanique, & destituée de principes Mathématiques, & qui ne seroit due qu'à un heureux hazard : car c'est effectivement au hazard & à l'expérience que sont dues jusqu'à présent ces sortes de machines, sans que la science y ait contribué presque en rien. Mais si on refléchit qu'une Compagnie, aussi éclairée que l'Académie Royale, a jugé ce sujet digne d'être proposé publiquement, on le doit regarder comme d'une plus grande conséquence, & présumer que la solution qu'on exige, peut non-seulement influer sur la méchanique vulgaire, mais, de plus, contribuer à étendre considérablement nos connoissances. Les Arts & les Sciences sont si étroitement unis & alliés ensemble, que ceux-là ne s'enrichissent qu'à mesure que celles-ci se perfectionnent.

§. III. C'est-là en effet ce que je pense au sujet de la question proposée, & je me flatte de faire voir évidemment, que pour en donner une solution valable & telle que l'Académie Royale la souhaite, il faut non-seulement appeller la Géométrie & l'Analyse au secours, mais aussi étendre considérablement les bornes de la Méchanique sublime. C'est-à-dire, que je prouverai l'insuffisance des principes de Méchanique jusqu'ici connus pour la résolution des

des questions de cette nature, & le besoin où l'on est d'aller plus loin, & d'en découvrir de nouveaux qui, fortifiés de l'Analyse, puissent nous conduire à une solution complette. C'est pourquoi c'est à établir ces nouveaux principes, que je m'attacherai d'abord dans cette Dissertation. Par leur moyen on pourra non-seulement déterminer la Machine dont il s'agit, mais aussi les porter généralement toutes au plus haut point de perfection. C'est pourquoi outre l'espoir de satisfaire pleinement à la question proposée par l'Académie, que me fait naître la découverte de ces principes, je me flatte d'avoir ouvert un vaste champ à une infinité de nouvelles inventions très-utiles au sujet des Machines.

§. IV. Toute recherche où l'on se propose de connoître & d'expliquer quelle Machine que ce soit, doit être divisée en deux parties. Dans la premiere on s'attache uniquement à connoître l'équilibre des Machines, ou à déterminer la raison entre la puissance & la résistance du poids ou du fardeau qui produit l'état de l'équilibre. Mais dans la seconde on doit envisager le mouvement des Machines mêmes, qui fait avancer le fardeau, & déterminer la vîtesse actuelle & le tems dans lequel le fardeau est tiré par un espace donné. La premiere partie a été si souvent traitée, & est si connue, qu'elle ne laisse plus rien à désirer. La seconde, au contraire, est si peu cultivée jusqu'ici, qu'à peine peut-on établir quelque chose de sûr touchant le mouvement même des Machines: ce qui est cependant l'essentiel dont il s'agit. Cette faute ne doit point être imputée au calcul ou à l'Analyse, mais plutôt au manque des principes de Méchanique, absolument nécessaires pour développer ces mouvemens composés. Ainsi il ne faut pas s'étonner si, ignorés comme ils le sont pour la plûpart, on n'a presque rien découvert jusqu'ici touchant le mouvement actuel des Machines.

§. V. Cependant il est fort aisé de sentir la nécessité de cette théorie du mouvement des Machines, soit pour en

juger, soit pour les perfectionner. Qu'on veuille faire avancer un certain fardeau avec une force donnée, il y a toujours plusieurs Machines, & même une infinité de la même sorte ou espéce, qu'on peut employer pour produire cet effet: mais pour déterminer celle qui le produira le plus vîte, il faut nécessairement avoir recours à cette théorie, jusqu'à présent si peu connue. Si, par exemple, il falloit élever un poids de 1000 livres avec une force égale à 100 livres par le moyen d'un Treuil ou Cabestan, il faut que la longueur des barres soit plus de dix fois plus grande que le rayon de l'essieu, de sorte qu'on se pourra servir de toutes les raisons qui surpassent la décuple. Mais qui ne s'apperçoit d'abord que si on prenoit la raison trop grande, il en résulteroit autant d'inconvéniens que si elle étoit trop proche de celle de 10 à 1? D'où il suit qu'il doit y avoir une certaine & déterminée raison entre la longueur des barres & l'épaisseur de l'essieu, moyennant laquelle le poids puisse être élevé le plus promptement. Dans l'exemple qu'on vient d'alléguer, cette raison se trouve environ de 20 à 1 au jugement des Experts; c'est-à-dire, que pour élever un poids de 1000 livres par un poids de 100 livres dans le moindre tems par le moyen d'un Treuil, il faut que le grand rayon auquel est appliquée la force, soit environ vingt fois plus grand que le petit auquel le fardeau est attaché; ensorte qu'une raison plus grande n'apporteroit pas moins de retard dans l'opération, qu'une raison plus petite.

§. VI. Tout cela, & bien d'autres choses encore touchant l'effet des Machines, & dont il est absolument nécessaire de porter un jugement solide, ne peuvent nullement être déduites de la théorie où l'on s'est borné jusqu'à présent, & qui ne va qu'à déterminer la raison requise pour produire l'équilibre entre le poids & la puissance. Ce qui fait d'autant mieux sentir l'utilité & la nécessité d'une autre théorie touchant les Machines, par le secours de laquelle on puisse déterminer leur mouvement, de même que la vîtesse avec laquelle elles peuvent mouvoir le poids

par une force donnée. Par le moyen de cette théorie non-seulement il sera aisé de connoître quelle Machine mouvra un poids plus vîte ou plus lentement, (en quoi consiste la connoissance des Machines;) mais de plus, en employant la méthode *de maximis & minimis*, on pourra assigner entre toutes les Machines possibles, précisément celle par le moyen de laquelle un corps donné sera mû par une puissance donnée le plus promptement. Or puisque plus une Machine accélere son effet, plus elle doit être censée parfaite, il suit que cette nouvelle théorie sera propre à donner à toutes sortes de Machines la derniere perfection, dont elles sont susceptibles. Si donc on vient à déterminer entre toutes les Machines celle qui fera avancer le plus vîte un certain poids par une force donnée, je dis que c'est celle qu'on doit tenir pour la plus parfaite; & en vain en cherchera-t-on une qui le soit plus.

§. VII. J'espere donc d'avoir mis dans tout son jour ce que j'ai avancé plus haut; je veux dire, que bien loin que la question proposée par l'Académie Royale des Sciences, ne donne aucune prise à la Géométrie & à l'Analyse, il est impossible de la résoudre convenablement sans recourir au calcul & à une nouvelle théorie des Machines, à quelques petits secours près, qu'on doit de la pratique. Car lorsqu'on demande une Machine qui serve dans un vaisseau à élever une ancre, ou un autre grand fardeau avec le plus de facilité, c'est principalement à ménager le tems, qu'on doit s'attacher, & à faire ensorte qu'une opération en prenne le moins qu'il est possible. Dans cette vue donc on demande une Machine qui soit premiérement exempte des inconvéniens qui résultent de la nécessité où l'on est de choquer plusieurs fois, & d'interrompre l'opération; & en second lieu, qui produise son effet dans le plus court espace de tems. Pour satisfaire à la premiere de ces deux conditions, on donnera pour cette partie du Cabestan, autour de laquelle se roule la Tournevire, une structure plus commode & plus avantageuse, & une maniere de

rouler aussi plus commodément ce cordage; ce que je ferai en dernier lieu de cette piece, après avoir développé l'autre partie de cette question; parce que c'est ici où il faut le plus consulter la pratique, & surquoi cependant la théorie donne beaucoup de lumieres. Quant à l'autre condition, qui sera ici la premiere, il n'est pas possible d'y satisfaire sans l'Analyse, & sans la nouvelle théorie des Machines, qui en explique & détermine le mouvement.

§. VIII. Mais afin de faire mieux connoître de quels nouveaux principes de Méchanique on a besoin pour déterminer le mouvement des Machines & la vîtesse du poids, il est nécessaire de commencer par la premiere théorie, qui ne roule uniquement que sur l'équilibre entre la puissance & le poids. On emploie dans cette théorie les principes de Statique, en conséquence desquels on indique la quantité de force sollicitante qu'il faut pour tenir en équilibre ou en repos, un certain poids qu'on veut mouvoir par une certaine Machine. C'est en quoi consiste la multiplication de la puissance sollicitante, qui fait qu'une petite force appliquée à une Machine, devient capable de soutenir un grand poids; & c'est ce que cette théorie dès long-tems épuisée, fait suffisamment connoître. Or quoiqu'on n'y fasse attention qu'à l'équilibre, & point du tout au mouvement même, il n'y a pourtant personne qui ne voye d'abord que si on applique à une Machine une plus grande force qu'il ne faut pour l'équilibre, le poids sera mis en mouvement. On peut encore en tirer cette conséquence, que plus on augmentera la force sollicitante, plus le corps sera mû vîte. Mais on ne peut rien conclure de cette théorie par rapport à la vîtesse & au mouvement même, qu'une puissance imprime dans ces cas à un corps à l'aide d'une Machine quelconque.

§. IX. Pour déterminer donc ce mouvement des Machines, qui se fait lorsqu'on applique plus de force que n'en demande l'équilibre, il faut établir des principes Méchaniques, tels qu'on puisse par leur moyen assigner à chaque

inſtant, tant l'accélération momentanée, que la vîteſſe même, ſi un corps quelconque, & comme on voudra mobile, eſt ſollicité par une ou par pluſieurs puiſſances. Il eſt vrai que lorſque les corps à qui des puiſſances impriment du mouvement, ſont tels, qu'on peut les regarder comme des points, (ce qui arrive ſi on n'a égard dans le calcul qu'au mouvement total, & qu'on néglige le mouvement des parties relatives entr'elles;) alors je conviens que les principes de Méchanique aſſez connus, ſuffiſent pour déterminer l'accélération & le mouvement lui-même. C'eſt de ces principes qu'on a pû effectivement déterminer le mouvement des corps graves, ſoit dans leur chûte, ſoit qu'ils ayent été projectés obliquement; & auſſi ceux des corps céleſtes, de même que ceux d'oſcillation. Mais ſi un corps auquel ſont appliquées des puiſſances, eſt compoſé de pluſieurs parties dont les mouvemens dépendent l'un de l'autre, comme cela arrive dans preſque toutes les Machines, alors ces principes ſont d'un foible ſecours pour développer ce mouvement, & il faut néceſſairement recourir à d'autres nouveaux principes propres à cette fin.

§. X. Je vais donc expliquer ces principes, à la faveur deſquels on peut déterminer exactement le mouvement des Machines. Je les appuyerai ſur des démonſtrations évidentes & Géométriques, autant que mon deſſein le permettra. Enſuite j'envisagerai les Machines en général, & je ferai le détail de tous les moments relatifs, tant à la ſtructure de la Machine, qu'à la puiſſance & au fardeau, auſquels il faut néceſſairement faire attention, ſi on veut juger de l'action & du mouvement des Machines. Après avoir mis ce fondement je conſidérerai le Cabeſtan même, & en ayant déterminé le mouvement par les principes établis ci-devant, je chercherai par la méthode *de maximis & minimis*, entre toutes les Machines de cette eſpéce, celle par le moyen de laquelle on pourra élever l'ancre, ou mouvoir d'autres fardeaux en moins de tems qu'il eſt poſſible. Enfin je détaillerai la ſtructure de la Machine déja trouvée,

qui la garantiſſe le plus qu'il eſt poſſible des inconvéniens que le roulement du cordage occaſionne, & qui permette de pouvoir achever l'opération ſans interruption. Je me flatte qu'en exécutant le plan que je viens de tracer, j'aurai ſatisfait à la queſtion ſuivant les vûes de la célébre Académie qui l'a propoſée, & de plus découvert une méthode univerſelle, sûre & unique pour pouvoir juger ſainement de toutes les Machines en général, & pour les porter au plus haut dégré de perfection.

IIº. *PRINCIPES DE MECHANIQUE.*

§. XI. Avant que d'entrer dans l'explication de ces principes de Méchanique propres à répandre de la lumiere ſur le ſujet dont il s'agit, il eſt à propos de toucher légérement les premiers principes du mouvement, quoiqu'ils ſoient aſſez connus, & ſervent de baſe à la théorie du mouvement telle qu'elle a été traitée juſqu'ici, afin de faire mieux ſentir la connexion des nouveaux principes, avec ceux qu'on connoît déja, mais ſur-tout leur nature & leur uſage. Les principes connus du mouvement, regardent particuliérement les corps infiniment petits, qui ne ſont capables que d'un mouvement progreſſif. Néanmoins ils ſont d'une utilité importante pour déterminer le mouvement total des corps d'une grandeur finie, en négligeant le mouvement relatif des parties entre elles. Ces principes, dis-je, ſervent à déterminer le mouvement que des forces quelconques impriment aux corps qu'elles ſollicitent, lorſque toutes les parties des corps reçoivent un même mouvement, ou que, ſuppoſé qu'il y ait un mouvement de rotation, on peut le négliger. C'eſt ainſi que Newton & d'autres, ont fort bien déterminé par le moyen de ces principes, le mouvement des corps péſants, qui tombent librement, ou qui ſont obliquement projectés, quoique ces corps ſoient d'une grandeur finie; & outre cela on a réſolu quantité d'autres queſtions ſur le mouvement des corps d'u-

ne grandeur finie, tant dans le vuide que dans des milieux réſiſtans, auſquels ces principes étoient ſuffiſans.

§. XII. Il ne ſera pas inutile, je penſe, de réduire à des notions diſtinctes les termes de maſſes des corps, de puiſſances & de viteſſe, afin de mettre plus clairement devant les yeux la force & l'étendue des principes du mouvement, tant de ceux qui ſont connus, que des nouveaux que je vais établir. La *Maſſe* donc eſt la quantité de matiere dont un corps eſt compoſé, & qu'on doit prendre en conſidération dans la génération ou altération du mouvement, à cauſe de la force d'inertie propre à toute matiere. Car plus il y a de matiere dans un corps, moins la puiſſance appliquée à ce corps y produit d'effet. Or parce que les poids de tous les corps ſitués autour de notre terre ſont proportionnels à la quantité de matiere dont ils ſont compoſés, on pourra employer le poids que chaque corps a ſur la ſurface de la terre, ou qu'il y auroit s'il y étoit placé, pour exprimer la maſſe de ce corps. Ainſi ſi par la lettre M je déſigne la maſſe d'un corps quelconque, cette lettre M marquera en même tems le poids que ce corps auroit, s'il étoit ſur la ſurface de la terre.

§. XIII. Par *Puiſſance* on entend une force quelconque capable de mouvoir un corps, ou de changer ſon mouvement. Une telle puiſſance eſt la gravité, en vertu de laquelle tous les corps terreſtres tendent en bas; & dans tous ces corps la force de la gravité eſt égale à leur poids. De là réſulte une maniere aſſez commode d'exprimer toutes les puiſſances par des poids, lorſqu'on prend à la place d'une puiſſance quelconque, un poids qui tend en bas avec une force égale à celle avec laquelle cette puiſſance ſollicite le corps auquel elle eſt appliquée dans ſa direction. Ainſi ſi une puiſſance P ſollicite un corps, la lettre P déſignera le poids qui tend en bas avec autant de force, que la puiſſance pouſſe le corps dans ſa direction. On peut donc en ſe ſervant de cette maniere de déſigner, regarder les maſſes des corps & les puiſſances ſollicitantes, comme des quantités homo-

genes entr'elles, puisque les unes & les autres s'expriment par des poids: ce qui procure bien des avantages dans la théorie du mouvement. N'auroit-on pas, par exemple, une idée bien claire de la masse de la Lune, si on sçavoit combien elle péseroit, placée sur la terre? Et la force avec laquelle elle est attirée vers la terre, ne seroit-elle pas distinctement connue, si on sçavoit assigner un poids sur la terre dont l'effort pour descendre fût égal à celui avec lequel la Lune est sollicitée vers la terre?

§. XIV. Quant à la vîtesse, on peut se servir de plusieurs moyens pour la mesurer; mais celui-ci qui se prend de la chûte des Graves dans la Verticale, paroît être le plus commode pour notre dessein; parce que nous avons une idée assez claire tant d'une hauteur déterminée, que de la vîtesse qu'un corps tombant de cette hauteur acquiert. On sçait que les vîtesses tiennent la raison soudoublée des hauteurs, & que la vîtesse qu'un corps a acquise à la fin de chaque descente, est égale à celle qu'il faudroit à un corps qui se mouveroit uniformement pour parcourir un espace double dans le même tems que l'autre a employé dans sa chûte. C'est pourquoi pour mesurer une vîtesse quelconque, je me servirai de la hauteur d'où un corps tombant acquiert la même vîtesse; & j'appellerai cette hauteur dans la suite *la Hauteur due à la vîtesse.* Ainsi si je dis que la hauteur due à la vîtesse d'un certain corps, est v, j'entends que ce corps se meut avec autant de vîtesse, qu'un autre en acquiert lorsqu'il tombe de la hauteur v sur la surface de la terre. Or il est clair que ces hauteurs n'expriment pas tant les vîtesses mêmes que leurs quarrés, puisque les vîtesses acquises par la chûte sont en raison soudoublée des hauteurs. Ainsi dans l'exemple allégué, ce n'est pas la hauteur v qu'il faut employer pour désigner la vîtesse même, mais plutôt $\sqrt{v}$.

§. XV. Après avoir réduit à des expressions déterminées les masses, les puissances & les vîtesses, on sera mieux en état d'expliquer la nature & l'usage des principes de Méchanique. Je suppose qu'un corps dont la masse est M se meuve

meuve avec autant de vîteſſe qu'il auroit s'il étoit tombé de la hauteur v, ou bien que la hauteur v ſoit la hauteur due à la vîteſſe. Que ce corps ſoit maintenant ſollicité par une puiſſance P, dont la direction ſoit la même que celle du mouvement : ce corps donc ſera accéléré (ſa direction demeurant la même) de façon que pendant qu'il parcourt l'élément de l'eſpace dx, il devient $dv = \frac{Pdx}{M}$. C'eſt-à-dire, lorſque le corps a parcouru le petit eſpace dx, ſa vîteſſe s'augmentera, & ce ne ſera plus v, mais $v + dv$ ou $v + \frac{Pdx}{M}$, qui exprimera la hauteur due. Dans cette expreſſion il eſt à remarquer que la fraction $\frac{P}{M}$ ne déſigne qu'un nombre abſolu à cauſe de P & M exprimés par des poids, & partant $v + \frac{Pdx}{M}$ ne dénote qu'une longueur ſimple. Voilà le premier principe, d'où l'on peut connoître l'action des puiſſances dans la génération ou l'altération du mouvement des corps.

§. XVI. Si la direction de la puiſſance eſt directement oppoſée à la direction dans laquelle le corps ſe meut, alors la direction ne changera pas non plus qu'auparavant, mais la vîteſſe ſera diminuée dans la même proportion, enſorte que l'élément de l'eſpace dx étant parcouru, il ſera $dv = -\frac{Pdx}{M}$, & la hauteur due alors à la vîteſſe $= v - \frac{Pdx}{M}$. Mais ſi la direction de la puiſſance eſt oblique par rapport à la direction du mouvement du corps, il faut alors décompoſer la puiſſance en deux latérales, dont la direction de l'une tombe ſur celle du corps, & la direction de l'autre ſoit perpendiculaire à celle-ci. Cela étant fait, la premiere puiſſance latérale agira comme ſi elle étoit ſeule, je veux dire qu'elle augmentera ou diminuera la vîteſſe ſuivant le principe précédent, ſans altérer la direction. Mais l'autre, dont la direction eſt perpendiculaire à celle du mouvement du corps, n'altérera en rien la vîteſſe ; mais toute ſon action n'ira qu'à changer la direction du corps. Ainſi une telle puiſſance normale P ſera perdre à un corps ſon mouvement

rectiligne, qu'il tâche de conserver en vertu de la premiere loi du mouvement, & le forcera à décrire un petit arc de cercle, dont le rayon de courbure sera $= \frac{2Mv}{P}$. C'est-là le second principe de Méchanique déja connu, d'où l'on a dérivé les mouvemens curvilignes des corps sollicités par des puissances quelconques.

§. XVII. Or ces principes ne sont d'aucun usage dans la recherche du mouvement, à moins que les corps ne soient effectivement infiniment petits, comme des points, ou qu'on ne puisse les regarder comme tels sans aucune erreur : ce qu'on peut faire lorsque la direction de la puissance sollicitante passe par le centre de gravité du corps. Dans ce cas en effet, il est permis d'envisager le corps comme tout ramassé dans son centre de gravité, & alors on pourra déterminer le mouvement par les principes dont on vient de parler. Mais lorsque la direction de la puissance ne passe pas par le centre de gravité du corps, on ne pourra pas assigner tout l'effet de la puissance par le moyen de ces principes, & cela d'autant moins que le corps qui doit être mû ne sera pas libre, ou qu'il sera retenu par quelque obstacle selon sa structure; comme cela arrive dans toutes les Machines, & surtout dans celles de la nature du Cabestan, lesquelles ne sont susceptibles que d'un mouvement circulaire autour d'un ou de plusieurs axes fixes, par le moyen duquel on fait avancer le fardeau. Par-là on voit manifestement que pour connoître & déterminer par le calcul ces mouvemens que des puissances quelconques impriment à des corps de cette nature, les principes qu'on vient de donner ne sont d'aucune ressource : mais qu'il en faut d'autres, si l'on veut connoître au juste ces mouvemens composés & variés.

§. XVIII. Je commencerai donc par les corps infléxibles, dont les parties conservent entr'elles une situation immuable; je les supposerai premiérement libres & nulle part arrêtés, afin qu'ils puissent se mouvoir librement en

tous ſens & en toute maniere, ſuivant que les puiſſances l'exigent. Un tel corps abandonné à lui-même, qu'aucune puiſſance ne ſollicite, ou demeurera perpétuellement en repos, ou s'il eſt en mouvement, continuera à ſe mouvoir, enſorte que ſon centre de gravité ſe mouvera uniformement en ligne droite. Cependant, ſoit qu'il reſte en repos, ou qu'il ſe meuve comme on vient de dire, il peut avoir un mouvement autour d'un axe, qui paſſe par ſon centre de gravité. Si donc un corps vient à prendre un tel mouvement de rotation, il le conſervera toujours uniforme, tout comme l'autre mouvement progreſſif. Tout corps de cette nature par conſequent eſt ſuſceptible de deux mouvemens indépendans l'un de l'autre; dont l'un eſt progreſſif, qui fait que le centre de gravité d'un corps ſe meut uniformément en ligne droite; l'autre eſt un mouvement de rotation, par lequel un corps tourne uniformément autour d'un axe qui paſſe par ſon centre de gravité. Je pourrois établir ſur des démonſtrations Géométriques ces principes touchant le mouvement des corps roides, libres, & ſur qui n'agit aucune puiſſance; mais comme ils ne ſervent pas principalement à mon deſſein, je n'en ajouterai pas la démonſtration, d'autant plus que les Phénoménes & les principes reçûs ne laiſſent pas douter de leur vérité.

§. XIX. Qu'il ſurvienne maintenant des puiſſances qui ſollicitent un tel corps, ſoit qu'il ſoit en repos ou en mouvement, les puiſſances produiront pareillement deux effets dans ce corps, tant par rapport au mouvement progreſſif, en tant qu'elles le feront naître ou changer, que par rapport au mouvement de rotation autour d'un axe qui paſſe par le centre de gravité, entant qu'elles le produiſent ou altérent. Ces deux effets ſont outre cela tels, qu'ils n'ont aucune liaiſon entr'eux, & que l'un n'influe point ſur l'autre; ce qui procure l'avantage de pouvoir déterminer chacun d'eux ſéparément, ſans faire attention à l'autre. Je veux dire, que la formation & le changement du mouvement progreſſif, où on ne conſidere que le mouvement du cen-

tre de gravité se fait toujours de la même maniere, soit que le corps tourne sur lui-même ou non ; ainsi que pour déterminer le mouvement progressif, on n'a pas besoin d'avoir égard au mouvement de rotation. Il en est de même de celui-ci. Qu'il y ait un mouvement progressif ou non, le mouvement de rotation se forme & se modifie tout de même. Ainsi lorsqu'il en est question, il est permis de faire entiérement abstraction du mouvement progressif, & d'envisager hardiment le centre de gravité, comme s'il étoit en repos. Il me seroit pareillement aisé de démontrer Géométriquement tout ce que je viens d'avancer, si cela me conduisoit directement à mon but, & si je ne craignois d'être trop long.

§. XX. Quant à ce qui concerne donc l'effet qu'une puissance quelconque produit dans un corps par rapport à son mouvement progressif, on pourra toujours le déterminer avec justesse par le moyen d'un seul principe, qui est celui ci : Que pour déterminer le mouvement progressif d'un corps sollicité par des puissances quelconques, il faut concevoir que tout le corps est concentré dans son centre de gravité, & que toutes les puissances sont appliquées à ce point dans les mêmes directions, c'est-à-dire, dans des directions paralleles à celles qu'elles ont en effet. Cela fait, toute la question se réduit au cas dans lequel on recherche le mouvement d'un point sollicité par des puissances, à quoi les principes connus dont on a fait mention ci-dessus, suffisent. De-là on voit clairement ce que j'ai avancé plus haut, sçavoir, que ces principes ne se bornent pas aux corps infiniment petits, mais qu'ils servent aussi à faire connoître le mouvement progressif de tous les corps. Mais il n'en est pas de même du mouvement de rotation ; car il demande d'autres principes que je vais expliquer.

§. XXI. C'est d'abord à l'axe autour duquel ce mouvement se fait, qu'il faut faire attention, & ensuite à la vîtesse avec laquelle il se fait, que l'on connoît par la vîtesse avec laquelle une particule à une distance donnée de l'axe, se meut. Or dans les corps libres, tels que ceux que j'ai

maintenant en vue, le mouvement de rotation ne se peut faire qu'autour d'un axe qui passe par le centre de gravité du corps. Car pour que ce mouvement autour d'un tel axe déterminé & en repos puisse durer, il faut que toutes les forces centrifuges autour de cet axe se tiennent mutuellement en équilibre. D'où il suit nécessairement que cet axe passe par le centre de gravité du corps. Mais au contraire, toute droite qui passe par ce centre, ne peut pas faire la fonction d'un axe de rotation; parce que toutes ces droites ne produisent pas toujours l'équilibre entre les forces centrifuges. C'est pourquoi lorsqu'un corps commence à tourner autour d'un tel axe qui n'a pas cette propriété, alors le mouvement de rotation se dérangera d'abord, bien qu'il ne survienne aucune force étrangere; & l'axe se changera en passant pourtant toujours par le centre de gravité, jusqu'à ce qu'il soit parvenu dans une telle situation, où les forces centrifuges se tiennent parfaitement en équilibre.

§. XXII. C'est-là aussi la raison pour laquelle il est bien souvent fort difficile de déterminer ce mouvement de rotation dans des corps libres, sur qui des forces quelconques font impression; lorsque l'axe autour duquel elles commencent à le faire tourner, n'a pas la propriété mentionnée. Mais cette difficulté ne m'arrêtera pas, puisqu'il n'y a dans les Machines, qui sont présentement mon objet, aucun de ces mouvemens de rotation libres, dont l'axe se forme de lui-même: car bien loin de là les axes autour desquels ces mouvemens se font, y sont fixes, & par la structure immobiles. Or soit que l'axe soit libre, soit qu'il soit déterminé & fixé, il faut également les mêmes principes pour connoître comment les puissances produisent ou changent ce mouvemenr de rotation. Le dernier de ces cas, qui a lieu dans les Machines, est plus aisé à manier que le premier; parce que dans celui-ci, avant que d'être en état de développer le mouvement de rotation, il faut déterminer l'axe par la direction des puissances sollicitantes, & par la nature du corps même, au lieu que dans l'autre cas les axes

ſont déja donnés & connus par la ſtructure des Machines.

§. XXIII. C'eſt pourquoi j'enviſagerai l'axe de rotation comme fixe ; car quoique dans les corps libres il n'y en ait point de tel, cependant quand on l'aura une fois déterminé, le mouvement ſe fera dans ces corps, tout comme autour d'un axe fixe. Il faut donc donner des principes, par le moyen deſquels on puiſſe expliquer & déterminer exactement, comment ſe produit le mouvement de rotation autour d'un axe fixe & connu, & comment les forces ſollicitantes peuvent le changer. Je ſuppoſerai donc qu'un axe ferme & immobile traverſe le corps, que je conſidere de façon pourtant qu'il puiſſe être librement mû autour de cet axe. Enſuite je rechercherai l'effet de chaque puiſſance appliquée au corps par rapport à la formation & à l'altération du mouvement autour de l'axe ; car c'eſt par-là que je me frayerai le chemin à la connoiſſance du mouvement des Machines, de quelque eſpéce & ſtructure que ce puiſſe être, & en conſéquence de celui par lequel une puiſſance donnée fait avancer un poids par le moyen d'une certaine Machine. Enfin, après avoir établi & démontré ces principes, je me verrai en état d'entreprendre la réſolution du ſujet propoſé.

Fig. 1. §. XXIV. Soit donc premierement le petit corps A mobile autour du pôle O, qu'il ſe meuve effectivement dans la circonférence du cercle TAV, avec une vîteſſe due à la hauteur v. Puiſque donc la vîteſſe même eſt comme $\sqrt{v}$, la vîteſſe angulaire, ou l'angle décrit dans un tems donné, ſera comme $\frac{\sqrt{v}}{AO}$. A préſent que ce petit corps, pendant qu'il parcourt le petit arc Aa, ſoit ſollicité par la puiſſance $AP = P$, dont la direction ſoit dans le plan AOV, & perpendiculaire au rayon AO : car ſi la direction de la puiſſance n'eſt pas telle, il faudra la réſoudre en ſes latérales, dont il n'y aura que celle qui eſt perpendiculaire à AO & dans le plan AOV, qui affecte le mouvement de rotation. L'increment donc de la vîteſſe du corps A, tandis

qu'il parcourt l'élément Aa, ſe déterminera par cette équation, $dv = \frac{P.Aa}{A}$; A marquant la maſſe du corps A. Par conſéquent la vîteſſe angulaire, qui étoit auparavant comme $\frac{\sqrt{v}}{AO}$, ſera maintenant comme $\frac{\sqrt{\left(v + \frac{P.Aa}{A}\right)}}{AO} = \frac{\sqrt{v}}{AO} + \frac{P.Aa}{2A.AO.\sqrt{v}}$: donc l'accroiſſement de la vîteſſe angulaire ſera $\frac{P.Aa}{2A.AO.\sqrt{v}}$. Or $\frac{Aa}{\sqrt{v}}$ étant comme le tems, dans lequel cet accroiſſement ſe produit, cet accroiſſement ſera comme $\frac{P\,dt}{A.AO}$; dt déſignant cet élément du tems. Mais parce que la force actuelle avec laquelle le mouvement de rotation eſt altéré, doit être eſtimée par l'increment de la vîteſſe angulaire dans un tems donné; cette force de rotation dans notre cas ſera $= \frac{P}{A.AO}$. D'où il eſt clair que ſi on multiplie la force de rotation exprimée de cette facon par $Aa.AO$, on obtiendra l'increment de la hauteur due à la vîteſſe du corps A, pendant qu'il parcourt le petit arc Aa; & par là on comprendra ſuffiſamment ce terme de *force de rotation* dont je me ſervirai dans la ſuite.

§. XXV. Ayant donné cette idée de la force de rotation, je vais chercher de quelle grandeur doit être un autre corps M placé à une diſtance donnée MO du pôle O, & par quelle puiſſance Mm il doit être ſollicité afin qu'il en réſulte, quant au mouvement de rotation, la même choſe que dans le premier corps A ſollicité par la puiſſance Aa à la diſtance AO du pôle. Si cela eſt une fois déterminé, il ſera facile d'aſſigner tant la force que le mouvement de rotation pour pluſieurs de ces petits corps unis, ou ce qui revient au même, pour un corps roide quelconque, mobile autour d'un axe fixe & ſollicité par des puiſſances quelconques; ce que je ferai voir bien-tôt. Or il eſt manifeſte premierement que dans le cas propoſé où on doit ſubſtituer la puiſſance Mm à la place de celle Aa, il faut néceſſaire- *Fig. 2.*

ment que les moments de l'une & de l'autre soient égaux entr'eux, ce qui donne $Mm. MO = Aa. AO$. Mais outre cela la force de rotation doit aussi être la même de part & d'autre. C'est pourquoi appellant A & M les masses des corpuscules A & M, on aura $\frac{Aa}{A. AO} = \frac{Mm}{M. MO}$. Or comme on a par la premiere condition $Mm = \frac{Aa. AO}{MO}$, si on substitue cette valeur à la place de Mm dans l'autre équation, on aura $\frac{Aa}{A. AO} = \frac{Aa. AO}{M. MO^2}$; & partant $M = \frac{A. AO^2}{MO^2}$. Pour trouver donc le mouvement de rotation d'une particule quelconque A éloignée de l'axe de rotation O de l'intervale AO, & sollicitée par la puissance Aa, on peut substituer hardiment dans une distance donnée OM du même axe O, le petit corps $M = \frac{A. AO^2}{MO^2}$ qui soit sollicité par la puissance $Mm = \frac{Aa. AO}{MO}$.

Fig. 3. §. XXVI. Soit présentement un systême de plusieurs petits corps A, B, C, D, E fortement alliés entr'eux, de même qu'à l'axe de rotation O, autour duquel ce systême soit mobile. Qu'à chacun de ces petits corps soient respectivement appliquées les puissances Aa, Bb, Cc, Dd, Ee, toutes d'un même sens. S'il y en avoit qui agissent en sens contraire, cela n'apporteroit aucune difficulté dans le cas même, mais seulement dans les signes $+$ & $-$. Pour déterminer donc le mouvement de rotation de ce systême de corps, je prends une distance fixe comme celle de OM de l'axe O; & je place au point M à la place du corps A, le corps $= \frac{A. AO^2}{MO^2}$ sollicité par la puissance $\frac{Aa. AO}{MO}$. Pareillement je substitue dans le même point M au lieu du corps B, un corps $= \frac{B. BO^2}{MO^2}$ sollicité par la puissance $\frac{Bb. BO}{MO}$, & en continuant de pareilles substitutions pour chaque corps du systême, j'aurai à substituer au lieu de tous au point M la masse $M = \frac{A. AO^2 + B. BO^2 + C. CO^2 + D. DO^2 + E. EO^2}{MO^2}$ qui sollicitée

licitée par la seule puissance $Mm = \frac{Aa.AO + Bb.BO + Cc.CO + Dd.DO + Ee.EO}{MO}$ subira les mêmes Phénoménes du mouvement de rotation, que le systême de tous les corpuscules lui-même. C'est pourquoi puisque la force de rotation dans le cas qu'on vient de trouver, $= \frac{Mm}{MMO}$, la force de rotation du systême proposé produite par toutes les puissances sollicitantes, sera $= \frac{Aa.AO + Bb.BO + Cc.CO + Dd.DO + Ee.EO}{A.AO^2 + B.BO^2 + C.CO^2 + D.DO^2 + E.EO^2}$, laquelle étant multipliée par $M\mu.\ MO$ exprimera l'increment de la hauteur due à la vîtesse, que le point M acquiert lorsqu'il parcourt autour du pôle O le petit arc Mm.

§. XXVII. Maintenant si nous examinons l'expression qui indique la force de rotation, nous remarquerons que c'est une fraction dont le numérateur est la somme de tous les moments que toutes les puissances ont, étant rapportées à l'axe de rotation, & dont le dénominateur est la somme de tous les produits qui proviennent de la multiplication de chaque particule par le quarré de sa distance à l'axe de rotation. J'appellerai cette derniere somme, qui forme le dénominateur de la fraction trouvée pour la force de rotation, le Moment de la Matiere du corps par rapport à l'axe autour duquel se fait la rotation. Ainsi pour trouver le moment de la matiere d'un corps quelconque roide, & mobile autour d'un certain axe, on n'a qu'à multiplier chaque particule du corps par le quarré de sa distance de cet axe ; & à rassembler en une somme tous ces produits. C'est pourquoi on aura la force de rotation de chaque corps mobile autour d'un axe fixe, & sollicité par des puissances quelconques, si on divise le moment des puissances sollicitantes par le moment de la matiere du corps, tous deux par rapport à l'axe de rotation.

§. XXVIII. On peut donc déterminer tant l'accélération que la vîtesse même, qu'un corps mobile autour d'un axe fixe, acquiert, par ces deux momens des puissances sol-

licitantes & de la matiere par rapport à l'axe de rotation. Au dernier de ces momens je donne le nom de Moment de la matiere, parce que dans celui-là entre la considération de la matiere & de l'inertie. Le premier de ces momens donc, qui est celui des puissances sollicitantes, divisé par le moment de la matiere, donnera la force de rotation, de la même maniere que dans les mouvemens progressifs la puissance même divisée par la matiere même du corps, exprime la force accélératrice. Cette grande analogie mérite bien d'être remarquée. Enfin l'usage de ces principes que je viens d'établir, autant que mon dessein le requiert, sur des démonstrations solides, est d'une très-grande étendue dans la Méchanique pour la solution de quantité de problêmes, qu'on n'oseroit pas même entreprendre sans cela; ce qu'on reconnoîtra bien-tôt mieux quand je parviendrai aux Machines. Mais outre cela on peut déduire d'une maniere très-aisée de ces principes, tout ce qu'on sait touchant les centres d'oscillation & de percussion, & bien d'autres choses encore: & quoique ce soient des choses assez connues, cette maniere de les déduire, paroît cependant plus naturelle; puisqu'elle est immédiatement fondée sur des premiers principes de Méchanique, non-seulement très-certains, mais aussi nécessairement vrais.

III°. *De l'action des Machines en général.*

§. XXIX. Dans toutes sortes de Machines, outre la raison de la multiplication de la force sollicitante, qui est presque la seule chose qu'on a coutume de considérer, il faut sur-tout faire attention à la structure de la Machine, & ensuite à la nature des puissances & du fardeau, si on veut porter un jugement solide du mouvement & de l'effet des Machines. Dans celles qui demandent maintenant nos réflexions, il faut examiner non-seulement la connéxité des parties & leur mobilité respective, mais de plus la masse de chaque partie & leur figure, tant extérieure qu'intérieure;

Or ſoit que les parties de la Machine ayent un mouvement progreſſif tandis que la Machine ſe meut, ou un mouvement de rotation autour d'un certain axe, la maſſe de chaque partie entrera dans le calcul. Mais parce que dans ce dernier cas il faut déterminer le moment de la matiere ; il faut, outre la quantité de la maſſe même, connoître la ſtructure intérieure, & ſur-tout la figure du corps dont il s'agit. Mais comme le ſujet nous borne à ces ſortes de Machines, qui ne ſont compoſées que de cylindres mobiles ſur des axes qui paſſent par leur milieu, comme ſont le Treuil, le Vindas, & ſur-tout le Cabeſtan, il ſuffira de ſçavoir que le moment de matiere du cylindre mobile autour de ſon axe, eſt égal à la maſſe ou au poids du cylindre multiplié par la moitié du quarré du rayon de la baſe. Ainſi ſi le poids du cylindre eſt $= A$ & le demi diamétre de ſa baze $= a$, le moment de la matiere ſera $= \frac{Aa^2}{2}$, pourvû que le cylindre ſoit d'une matiere homogene.

§. XXX. En ſecond lieu, dans l'examen des Machines il faut tenir compte de la force qui leur imprime du mouvement, & par-là aux fardeaux. Ordinairement on ne conſidere que la quantité & la direction de cette force ; parce que ces deux choſes ſuffiſent pour juger de l'équilibre. Mais quand il s'agit du mouvement même, & de déterminer la vîteſſe avec laquelle le fardeau eſt mû, alors outre la quantité & la direction de la force ſollicitante, il faut conſidérer ſa nature intrinſeque ; c'eſt-à-dire, la matiere unie à la force, & qui doit être miſe en mouvement en même tems que la force meut la Machine. Or il eſt manifeſte par la génération du mouvement, que ſi à la force ſollicitante eſt jointe une maſſe, qui doit être mue conjointement avec la Machine & le fardeau, plus cette maſſe eſt grande, plus le mouvement ſera retardé. D'où il ſuit que dans toutes les forces qu'on applique pour faire mouvoir une machine outre leur quantité & leur direction, il faut conſidérer la matiere dans laquelle la force ſubſiſte.

En recherchant donc le mouvement des Machines, je dois au ſujet des puiſſances, prendre en conſidération trois différentes choſes ; dont la premiere eſt la direction ſuivant laquelle la puiſſance agit ſur la Machine ; la ſeconde eſt ſa quantité, qu'on eſtimera par un poids qui fait autant d'effort pour deſcendre : & la troiſiéme enfin ſera la matiere étroitement jointe à la force, & que j'appellerai l'Inertie de la force ſollicitante. Elle doit donc être également exprimée par un poids, de la même maniere que j'y ai réduit ci-deſſus la quantité des maſſes.

§. XXXI. Cela fait voir qu'il y a une grande différence à mettre entre les forces qui animent des Machines, laquelle peut être négligée ſi on ne fait d'attention qu'à l'équilibre ; cette différence regardant proprement l'inertie de la force ſollicitante. Ainſi ſi une Machine ſe met en mouvement par un poids qui deſcend perpendiculairement, le poids exprimera tant la quantité de la force même, que ſon inertie. Mais ſi le poids deſcend ſur un plan incliné, la quantité de la force ſera moindre que le poids même, & cela en raiſon du ſinus de l'angle d'inclinaiſon du plan au ſinus total ; mais l'inertie reſtera comme auparavant exprimée par le poids entier, enſorte qu'en ce cas la force ſollicitante ſera moindre que ſon inertie. De-là vient que ces ſortes de forces où il y a beaucoup d'inertie, impriment aux Machines un mouvement plus lent. Une autre eſpéce de forces ſont les reſſorts, qui ſont capables d'imprimer à une Machine un mouvement plus vîte, parce qu'il n'y a d'ordinaire qu'une petite maſſe, c'eſt-à-dire, une petite quantité d'inertie unie à une aſſez grande force élaſtique. Il en eſt à peu près de même des forces des hommes & des animaux, qu'on emploie pour faire jouer quelque Machine. Ces forces avantageuſement appliquées font un effet conſidérable, parce qu'il n'y a que peu de matiere à proportion de la quantité de la force, qui ſe meuve en même tems. Or rien ne paroît plus commode en fait de forces, que celles que le vent ou l'eau fourniſſent, principalement

ſi leur impulſion ſe fait directement contre des aîles, comme dans un moulin à-vent, ſur qui le vent exerce continuellement la même force, ſoit que la Machine ſoit en repos ou non. Dans ce cas il n'y a outre cela abſolument aucune inertie jointe à ces forces, parce que le mouvement que produit l'action de la force dans l'eau ou dans l'air, ne ralentit point du tout le mouvement de la Machine. C'eſt donc du vent ou d'une eau courante, qu'il faut emprunter des forces pour rendre le mouvement des Machines le plus vîte. Après ces forces viennent celles que l'on tire des reſſorts très-bandés, & les puiſſances des hommes & des bêtes appliquées avantageuſement, parce qu'à ces forces ſe joint peu d'inertie, à proportion de leur quantité. Enfin on doit s'attendre à l'effet le plus lent, ſi les forces qu'on emploie ſont priſes de la deſcente des poids, ſur-tout ſi elle ſe fait obliquement; car c'eſt dans ce cas qu'à une petite force ſollicitante ſe joint une grande inertie. Or il eſt à remarquer qu'en faiſant cette comparaiſon des forces de différentes eſpéces, je les ſuppoſe toutes égales quant à leur quantité & leur direction.

§. XXXII. Je viens maintenant au fardeau qui doit être mû à l'aide de la Machine. Il y faut pareillement conſidérer trois choſes, 1°. ſon inertie, ou la maſſe qui doit être mue; 2°. ſa réſiſtance, ou la force qui eſt contraire à la force ſollicitante; & 3°. la direction de cette force de réſiſtance, s'il y en a. C'eſt de-là que provient une différence très-conſidérable dans les fardeaux. Les uns ne font aucune réſiſtance, ou n'ont point de force contraire à celle qui ſollicite: ce qui arrive lorſqu'il n'y a qu'à mettre la ſeule maſſe du fardeau en mouvement; comme s'il faut faire avancer un poids d'un mouvement horizontal; car ſa péſanteur en ce cas ne s'oppoſe à l'action de la Machine, qu'entant qu'elle augmente le frottement; & il n'y a que l'inertie de la matiere, & le frottement à ſurmonter. La même choſe a lieu dans les horloges & dans pluſieurs ſortes de moulins, où il n'y a aucune force contraire à la

puiſſance ſollicitante ; mais toute la force ſollicitante s'emploie à produire du mouvement, ſans trouver d'autre obſtacle que l'inertie de la matiere dont la Machine eſt compoſée, & le frottement. Ces ſortes de Machines ne ſont donc point du reſſort de la Statique ordinaire, où l'on ne conſidere que l'état d'équilibre, & où l'on ne recherche que la raiſon entre la puiſſance ſollicitante & la force de la réſiſtance d'où ſe forme l'équilibre. Or dans ces cas il n'y a point du tout de force de réſiſtance ; car il faut bien diſtinguer la force de la réſiſtance, qui eſt une force contraire à la puiſſance ſollicitante, d'avec l'inertie. Celle-ci eſt propre par ſa nature à toute matiere ; mais celle-là vient de dehors comme de la gravité, & d'autres forces qui exiſtent dans le monde.

§. XXXIII. Or un corps ſollicité au-dehors par une force, en a une de réſiſtance, par laquelle il s'oppoſe au mouvement de la Machine. Cela arrive ſur-tout lorſqu'il faut élever des poids de bas en-haut : car dans ce cas il faut non-ſeulement vaincre l'inertie du poids, & imprimer à celui-ci du mouvement ; mais auſſi, & c'eſt à quoi il faut principalement faire attention, il faut ſurmonter la force de la réſiſtance avec laquelle le poids tend en bas. Je veux dire, que la force ſollicitante doit être à cette réſiſtance du poids en raiſon plus grande qu'il ne faut pour l'équilibre ; & c'eſt-là le cas principal & preſque unique qu'on a coutume de traiter dans la Statique, où il ne s'agit que de l'équilibre. Il en va de même à peu près s'il faut bander un reſſort par le moyen d'une Machine, & comprimer ou extraire l'air par des pompes pneumatiques ; car dans ces opérations la force de la réſiſtance forme un très-grand obſtacle à l'action des Machines ; mais l'inertie de la matiere qui doit être miſe en mouvement, eſt aſſez petite. Or c'eſt de l'inertie tant du poids que de la puiſſance, & de la Machine elle-même, que dépend principalement le mouvement de la Machine & du poids ; car plus la maſſe que la puiſſance doit mouvoir eſt grande, plus le mouvement ſera lent,

comme cela suit de tous les principes qne j'ai établis.

§. XXXIV. En dernier lieu, lorsqu'il est question de déterminer le mouvement des Machines, il faut tenir compte du frottement qui diminue considérablement la vîtesse. Pour donner la plus grande perfection aux Machines, on doit donc s'attacher sur-tout à faire qu'il y ait le moins de frottement qu'il est possible; on a trouvé à cet effet d'excellens expédiens. Or s'il n'est pas possible d'éviter tout-à-fait le frottement, il faut faire ensorte qu'il soit entiérement, en vertu de la construction de la Machine, dans l'endroit où le mouvement est le plus lent; ce qui d'ordinaire se pratique en diminuant les essieux autour desquels le mouvement se fait, ou en les faisant mouvoir sur d'autres essieux plus petits. Mais s'il n'y a pas moyen d'éviter le frottement, il faut de nécessité le faire entrer dans le calcul. Et bien que cela paroisse d'abord très-difficile, cependant en y faisant mûrement attention, & en l'examinant de près, la difficulté s'applanit, & le calcul n'en devient ni plus long, ni plus embarassé. En effet, comme le frottement doit être mis au nombre de ces résistances qui sont constantes, ou pour parler comme Newton, proportionnelles au moment du tems; il faudra également la même force pour surmonter le frottement, soit que le mouvement soit lent ou rapide. C'est pour cette raison que dans toute Machine déterminée, on doit toujours destiner au frottement une partie de la force sollicitante; & du reste on en déterminera le mouvement total. Cette partie de la force sollicitante étant donc une fois trouvée, ce qu'il n'est pas même mal-aisé de faire par la pratique : sçavoir en augmentant, dès qu'on est parvenu à l'équilibre, la puissance peu à peu par dégrés, jusqu'à ce que la Machine commence à se mouvoir : cela étant fait, on aura la force qu'il faut pour surmonter le frottement, & on n'aura plus de peine dans le calcul.

IV°. *Du Cabestan le plus avantageux par rapport à la vitesse avec laquelle il agit.*

§. XXXV. Après avoir établi les principes, & fait les observations nécessaires sur les Machines en général, je puis enfin passer à la question même que l'Académie Royale des Sciences a proposée. La construction du Cabestan sera donc d'abord l'objet de mes recherches; & elle doit être telle, que le fardeau soit mû avec la plus grande vîtesse par une puissance donnée. Mais avant toutes choses il faut déterminer le genre de Machines d'où on doit prendre le Cabestan ou autre Machine équivalente; ce qui est sans doute le Treuil ou l'*Axis in peritrochio.* Car les poulies & les mouffles sont sujets à trop d'inconvéniens sur la mer, & la seule longueur excessive des cordes qu'elles exigeroient pour élever les ancres, suffit pour les faire rejetter, quoique d'ailleurs cette espéce de Machines soit très-propre à accélérer l'effet. Les vis agissent avec trop de lenteur, & par cela même ne sont d'aucun usage pour notre dessein. C'est pourquoi je m'attacherai uniquement aux Cabestans mêmes, tant simples que composés; & je chercherai premierement la vîtesse avec laquelle ils feront mouvoir le fardeau : après quoi je déterminerai par la méthode *de maximis & minimis*, d'entre toutes ces Machines celle par laquelle la même puissance produira le plus promt effet.

Fig. 4. §. XXXVI. Soit donc CD un Cabestan simple, ou un cylindre mobile autour de son axe; & que ce soit autour de ce cylindre que se roule le cordage FE qui tire ou qui éleve un fardeau. Soit de plus la puissance appliquée aux Barres A qu'on fait entrer jusqu'au fond des trous B, qui sont à la tête du Cabestan; ou aussi en deux endroits, lorsque le Cabestan est fait pour virer sur deux ponts, ce qui est la même chose pour le calcul. Appellons la longueur des barres f, & soit la masse ou le poids du

du cylindre $= A$, & ſon rayon de la baſe $= a$; d'où le moment de la matiere de tout le cylindre ſera $= \frac{Aa^2}{2}$. Soit encore la force de la puiſſance ſollicitante pour faire tourner la machine $= p$; & ſa matiere ou ſon inertie $= P$; & que la force de la réſiſtance du fardeau, qui eſt contraire à l'action de la puiſſance, s'il y en a, ſoit $= q$; & l'inertie ou la maſſe du fardeau $= Q$. Enfin ſuppoſons qu'il faille appliquer en A outre la force, qui eſt requiſe pour l'équilibre, une force φ, pour ſurmonter le frottement, & pour faire mouvoir la Machine, laquelle étant ſouſtraite de la puiſſance ſollicitante p, le reſte $p - \varphi$ ſera la force actuelle, qui s'emploie pour faire avancer le fardeau.

§. XXXVII. Cela fait, voyons maintenant quelle ſera la force de rotation avec laquelle tournera le cylindre; parce que c'eſt par ſon moyen, qu'on pourra déterminer le mouvement du cylindre, & la vîteſſe avec laquelle le fardeau Q ſera mû. Or comme la force de rotation s'exprime par une fraction dont le numérateur eſt le moment des puiſſances ſollicitantes, & le dénominateur eſt le moment de la matiere qui doit être mûe, je chercherai ces deux momens pour le cas en queſtion. La puiſſance ſollicitante étant donc $= p - \varphi$, ſoit qu'elle ſoit appliquée à une ſeule barre, ou diſtribuée ſur pluſieurs, ſon moment pour tourner le cylindre ſera $= (p - \varphi) f$, d'où on doit ſourſtaire le moment qui provient de la force de la réſiſtance du fardeau, laquelle eſt $= q$; ce moment-ci ſera donc $= aq$; enſorte que le vrai moment des forces ſera $= f(p - \varphi) - aq$. Maintenant le moment de la matiere du cylindre eſt $= \frac{Aa^2}{2}$, auquel il faut encore ajouter les momens de la matiere, leſquels réſultent des inerties tant de la puiſſance P, que du fardeau Q. Or comme la matiere unie à la puiſſance ſe meut avec la même vîteſſe que le point A auquel elle eſt appliquée, on pourra la concevoir comme ramaſſée dans ce même point A; & ainſi on doit la multiplier par le

quarré de sa distance de l'axe de rotation, pour avoir son moment par rapport au mouvement de rotation; & ce moment sera par conséquent $= P f^2$. Pareillement comme le fardeau se meut avec la même vîtesse que la superficie extérieure du cylindre, son moment sera $= Q a^2$. C'est pourquoi le moment total de toute la matiere qui doit être mise en mouvement, sera $= \frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2$.

§. XXXVIII. Ayant donc trouvé ces deux momens, la force de rotation sera $= \frac{f(p-\varphi) - a q}{\frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2}$ à laquelle l'accélération momentanée du mouvement de rotation est proportionnelle. Si on la multiplie donc par le rayon du cylindre, elle exprimera l'accélération que la surface du cylindre, & par conséquent le fardeau lui-même recevront; & ainsi l'accélération du fardeau sera $= \frac{a f(p-\varphi) - a^2 q}{\frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2}$. Si donc le fardeau avoit déja parcouru l'espace x, & acquis une vîtesse due à la hauteur v, alors on auroit $d v = \frac{a f(p-\varphi) - a^2 q}{\frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2} d x$, & en intégrant $v = \frac{a f(p-\varphi) - a^2 q}{\frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2} x$. D'où il est clair, que la vîtesse du fardeau même sera proportionnelle à la racine quarrée de cette expression, & elle sera par conséquent en raison soudoublée des espaces parcourus. Cela devroit être effectivement ainsi, si la puissance agissoit sans relâche, & qu'il n'y eût aucun obstacle. Mais comme les puissances des hommes qu'on emploie pour cette opération n'agissent pas continuellement; & que le milieu même dans lequel se fait le mouvement, oppose de la résistance; on donnera bien tôt une vîtesse constante au fardeau, que l'on pourroit aussi déterminer si l'on faisoit entrer dans le calcul cette résistance, & si mon sujet le demandoit. Or il n'exige principalement de moi, que de rechercher une Machine qui enléve le plus promptement le fardeau. C'est pourquoi il me suffira d'examiner cette expression $\frac{a f(p-\varphi) - a^2 q}{\frac{1}{2} A a^2 + P f^2 + Q a^2}$; puisqu'il est hors de doute que plus cette expression sera grande, plus aussi sera grande la vîtesse avec laquelle le fardeau sera enlevé.

§. XXXIX. Or si on fait attention à cette expression $\frac{af(p-\varphi)-a^2q}{\frac{1}{2}Aa^2+Pf^2+Qa^2}$, on trouvera que pour mouvoir le fardeau il faut que soit $af(p-\varphi)-a^2q > 0$, ou $f > \frac{aq}{p-\varphi}$. Mais il est évident qu'il ne suit pas que plus f surpasse cette expression $\frac{aq}{p-\varphi}$, plus aussi la vîtesse doit être grande. Car si on prenoit $f = \infty$, l'accélération s'evanouiroit de rechef, à cause de Pf^2 infiniment grand dans le dénominateur. Il n'y a donc que deux cas, où l'accélération du fardeau devienne $= 0$, qui sont $f = \frac{aq}{p-\varphi}$, & $f = \infty$; & c'est dans ces deux limites de f, que sont contenus tous les cas ausquels le fardeau peut être actuellement mû ; & parmi lesquels il y en aura nécessairement un, qui produira la plus grande vîtesse. Voici donc le problême qu'il faudra résoudre par la méthode *de maximis & minimis : Etant donnés le Cylindre C D de même que les forces & les inerties de la puissance & du fardeau, déterminer la longueur des Barres A B ou f, afin que le fardeau soit mû avec la plus grande vîtesse.* La résolution de ce problême fournira par conséquent la construction la plus avantageuse d'un Cabestan simple, qui n'est composé que d'un seul cylindre mobile autour de son axe.

§. XL. Dans ce problême les quantités données ou constantes sont A, a, P, p, Q & q, & l'inconnue variable est f. Or quant à ce qui concerne le frottement φ, comme il regarde le point encore inconnu A, il n'est pas à propos de le concevoir appliqué à cet endroit. Soit donc φ une force capable de vaincre le frottement, si elle est appliquée à une distance donnée $= a$ de l'axe de rotation. Cela fait, la formule dont il faut faire un *maximum*, se changera en celle-ci $\frac{afp-a^2(q+\varphi)}{\frac{1}{2}Aa^2+Pf^2+Qa^2}$. Pour déterminer donc f, en vertu de laquelle la formule deviendra un *maximum*, il faut la différencier en faisant f variable, & la différentielle $= 0$;

par-là on obtiendra cette équation $o = \frac{\pi}{2} A a^3 p - P a f^2 p + Q a^3 p + 2 P a^2 f (q + \varphi)$ ou $ff = \frac{2 P a f (q + \varphi) + a^2 p (\frac{1}{2} A + Q)}{P p}$ qui donne $f = a \left(\frac{q + \varphi}{p} + \sqrt{ \left(\frac{(q + \varphi)^2}{pp} + \frac{\frac{1}{2} A + Q}{P} \right) } \right)$. Cette équation donne donc à connoître la raison la plus avantageuse, entre la longueur des barres f, & le rayon du cylindre a.

§. XLI. Faisons maintenant servir tout ceci à lever l'ancre, & déterminons le Cabestan le plus propre à cet effet; q sera donc le poids de l'ancre dans l'eau, & Q exprimera la masse de l'ancre & du cordage conjointement, parce que le cordage perd presque toute sa pésanteur dans l'eau, mais non pas son inertie. Ainsi Q sera $> q$; & on pourra assez sûrement mettre $Q + \frac{1}{2} A = 2 (q + \varphi)$. Outre cela, comme la force que déploie un homme en virant, est à peu près égale à son poids, on peut faire hardiment $P = p$. Ces substitutions étant faites, on aura $f = \left(\frac{q + \varphi}{p} + \sqrt{ \left(\frac{(q + \varphi)^2}{pp} + \frac{2 (q + \varphi)}{p} \right) } \right) a$, ou à peu près $f = a \left(1 + \frac{2 (q + \varphi)}{p} \right)$. Au moins on voit clairement que f doit être plus grand que $\frac{2 (q + \varphi)}{p} a$, & pourtant plus petit que $a \left(1 + \frac{2 (q + \varphi)}{p} \right)$, ce qui ne cause presque aucune différence dans la pratique. De-là il est donc clair que la raison de la barre f au rayon du cylindre a, doit être un peu plus que deux fois plus grande que celle qui est requise pour produire l'équilibre, & outre cela pour surmonter le frottement.

§. XLII. Or lorsque la puissance sollicitante est si petite en comparaison du poids de l'ancre, qu'il faudroit en suivant la régle trouvée, ou que le cylindre fût trop menu, ou que les barres fussent trop longues; alternative, où les inconvéniens seroient également grands; alors pour opérer avec le plus d'avantage, il sera à propos de se servir d'un Cabestan composé de deux cylindres; c'est pourquoi il

convient d'appliquer le même calcul à ces sortes de Cabestans, qu'on nomme Cabestans à lanterne. Soit donc $D\ G$ un cylindre, autour duquel se roule la Tournevire, dont la masse ou le poids soit $= A$, son rayon $= a$; soit en outre la force de la résistance du fardeau tiré par le cordage $E\ F$, $= q$, & son inertie $= Q$. Supposons que ce cylindre soit garni en D d'une roue à dent que la lanterne B qui se trouve au Cabestan $C\ B$, fait mouvoir, & que ce Cabestan tourne par le moyen de la puissance p appliquée en A aux barres $A\ C$, dont la longueur est $= f$, & à laquelle soit unie une matiere ou inertie $= P$. Soit la masse ou le poids du cylindre $CB = B$, & son rayon $= b$; ensorte que son moment d'inertie par rapport au mouvement autour de son axe, soit $= \frac{1}{2}\ B\ b^2$. Que le nombre des dents de la roue D soit à celui des rais ou des fuseaux de la lanterne B comme m à n, ensorte que la vîtesse angulaire du cylindre DG, soit à la vîtesse angulaire du cylindre $C\,B$ comme n à m. Et qu'enfin on conçoive que le frottement est tel, qu'à sa place la résistance du fardeau peutêtre augmentée de la force φ. *Fig. 5.*

§. XLIII. Voilà donc dans cette Machine deux mouvemens de rotation, l'un du cylindre $D\ G$, & l'autre du cylindre $C\,B$. Le premier est celui qu'il nous importe le plus d'examiner, parce que de son mouvement dépend celui du fardeau, qui est ce qu'on cherche. Ce mouvement donc de rotation du cylindre $D\ G$, se fera connoître par le moment des forces divisé par celui de l'inertie. Or le moment de la puissance p pour faire tourner le cylindre $C\ B$, est $= f\ p$; & par conséquent le moment de cette même puissance pour faire tourner le cylindre $D\ G$ est $= \frac{m}{n} f\ p$. Outre cela le moment qui provient de la résistance q du fardeau & du frottement φ sera $= a\ (q + \varphi)$; qui soustrait du précédent, donne le véritable moment des forces $= \frac{m}{n} f\ p - a\ (q + \varphi)$, qui fera tourner le cylindre $D\ G$. Mais le moment d'inertie de ce cylindre est $\frac{A\,a^2}{2}$ & le mo-

ment d'inertie du fardeau eſt comme ci-deſſus $= Q\,a^2$. Afin donc de déterminer le moment des inerties de l'autre cylindre & de la puiſſance, je conſidérerai premierement le mouvement de rotation du ſeul cylindre CB, par rapport auquel le moment des inerties ſera $= Pf^2 + \frac{1}{2} B\,b^2$, qui ſerviroit auſſi pour le mouvement de rotation du cylindre DG, s'ils ſe mouvoient l'un & l'autre également vîte. Mais puiſque le mouvement de rotation du cylindre CB ſurpaſſe celui du cylindre DG en raiſon de m à n; il faudra augmenter ce moment en raiſon doublée de celle de m à n. D'où il ſuit que par rapport au mouvement de rotation du cylindre DG, le moment de l'axe CB & de l'inertie de la puiſſance, ſera $= \frac{m^2}{n^2}(Pf^2 + \frac{1}{2} B\,b^2)$. Donc le moment total des inerties par rapport au mouvement de rotation du cylindre DG ſera $= \frac{1}{2} A\,a^2 + Q\,a^2 + \frac{m^2}{2n^2} B\,b^2 + \frac{m^2}{n^2} P\,f^2$.

§. XLIV. Ayant ainſi déterminé les momens tant des forces ſollicitantes que des inerties, la force de rotation qui fait tourner le cylindre DG ſera $= \frac{m\,n\,f\,p - n^2 a\,(q + \varphi)}{\frac{1}{2} n^2 A\,a^2 + \frac{1}{2} m^2 B b^2 + n^2 Q\,a^2 + m^2 Pf^2}$. De-là réſultera donc la force avec laquelle le fardeau s'accélere $= \frac{m\,n\,a\,f\,p - n^2 a^2 (q + \varphi)}{\frac{1}{2} n^2 A\,a^2 + \frac{1}{2} m^2 B\,b^2 + n^2 Q\,a^2 + m^2 P f^2}$; plus cette force par conſéquent ſera grande, plus le fardeau ſe mouvera vîte. Or il y a trois cas où cette expreſſion s'évanouit, ſi on regarde f & la raiſon $\frac{m}{n}$ comme variables. Le premier eſt ſi $\frac{m}{n} f = \frac{q + \varphi}{p}$, le ſecond ſi $f = \infty$, & le troiſiéme ſi $\frac{m}{n} = \infty$. Ces trois cas ſont comme les limites entre leſquelles ſont compris tous ceux auſquels le fardeau ſe meut actuellement. On pourra donc aſſigner de telles valeurs pour f & $\frac{m}{n}$, qui étant ſubſtituées, donneront le plus prompt mouvement du fardeau. Il faut donc déterminer ces valeurs pour donner à cette machine ſa plus grande perfection,

& pour sçavoir de quelle maniere un Cabestan double ou à lanterne, doit être construit pour enlever un fardeau avec le plus de promptitude.

§. XLV. A cet effet il faut regarder A, a, B, b, P, p, Q, q, & φ, comme des quantités constantes, & f & $\frac{m}{n}$ comme variables, dont on doit chercher la valeur par la méthode *de maximis & minimis*. Faisant donc dans l'expression trouvée $\frac{m}{n} = z$ & $fz = y$, on aura cette formule, $\frac{apy - a^2(q+\varphi)}{\frac{1}{2}Aa^2 + \frac{1}{2}Bb^2z^2 + Qa^2 + Py^2}$, dont il faut faire un *maximum*; d'où il paroît que si on assigne à la quantité y sa valeur, on ne pourra déterminer par la méthode *de maximis & minimis* l'autre variable z, qu'en la faisant aussi petite que les circonstances le permettent. C'est pourquoi il suffira de ne chercher que la seule changeante y, laquelle sera déterminée par cette équation, $Ppy^2 = 2Pa(q+\varphi)y + \frac{1}{2}Aa^2p + \frac{1}{2}Bb^2pz^2 + Qa^2p$, qui donne $y = \frac{a(q+\varphi)}{p} + \sqrt{\left(\frac{a^2(q+\varphi)^2}{p^2} + \frac{\frac{1}{2}Aa^2 + \frac{1}{2}Bb^2z^2 + Qa^2}{P}\right)}$. Et en ne considérant que l'opération de lever les ancres, comme on l'a fait dans le premier cas, on aura par les mêmes suppositions & approximations, $y = \frac{2a(q+\varphi)}{p} + a = \frac{m}{n}f$. C'est donc de cette équation, qu'on pourra déduire la construction la plus avantageuse des Cabestans composés à lanterne.

§. XLVI. Or il suit de cette équation, que la longueur des barres AC, multipliée par la raison du nombre des dents de la roue D à celui des fuseaux de la lanterne B, doit être au demi diamétre de la baze de l'essieu DG, comme le double du poids de l'ancre, & du frottement avec la puissance sollicitante, à la puissance sollicitante elle-même. Étant donc donnés le poids de l'ancre, la force mouvante & l'épaisseur de l'essieu DG, autour duquel se roule la tournevire, on déterminera le produit de la longueur des barres par la fraction $\frac{m}{n}$; puisqu'on a $\frac{m}{n}f = \frac{2a(q+\varphi)}{p} + a$. Or pour détermi-

ner séparément la longueur des barres f & la fraction $\frac{m}{n}$, il faut avoir égard aux circonstances de la part du vaisseau, sur la grandeur duquel il faut régler la longueur des barres. Ayant donc déterminé cette longueur des barres f par la capacité du vaisseau, on n'aura qu'à proportionner la roue D avec la lanterne B, ensorte que $\frac{m}{n} = \frac{2a(q+\varphi)+ap}{fp}$. Lors donc que quelques circonstances empêchent qu'un Cabestan simple ne puisse recevoir la plus grande perfection, il n'y a qu'à se servir d'un Cabestan composé, tel que celui dont nous venons de donner la description, & qui pourra être employé dans tous les vaisseaux, n'y ayant aucune circonstance qui empêche son usage. Outre cela ce Cabestan composé peut aussi servir au lieu d'un simple lorsque l'opération l'exige: on n'aura pour cet effet qu'à ôter l'essieu DG de sa place, ou seulement la roue D. Mais ces avantages se présentent d'eux-mêmes si naturellement, qu'il seroit superflu de m'y arrêter davantage.

V°. *Des inconvéniens qui résultent du choquement de la Tournevire, & de la maniere de les éviter.*

§. XLVII. Je viens enfin à la difficulté principale, qui consiste en ce que la Tournevire venant à être roulée sur le Cabestan & à le remplir, on est obligé de suspendre l'ouvrage jusqu'à ce qu'on ait développé le cordage, & qu'on l'ait relevé; c'est ce qu'on appelle choquer la Tournevire, ce qui rend la manoeuvre de lever l'ancre si pénible & si lente. Quelque parfait donc qu'on puisse rendre un Cabestan, par le moyen des régles que nous avons données dans la section précédente, & quelque propre qu'il fût à accélerer considérablement l'opération, on ne gagneroit cependant pas beaucoup, si on ne remedioit à l'inconvénient causé par le choquement de la Tournevire. Or de quelque maniere qu'on s'y prenne à cet effet, on n'a rien à changer à la construction du Cabestan ci-dessus trouvée;

car

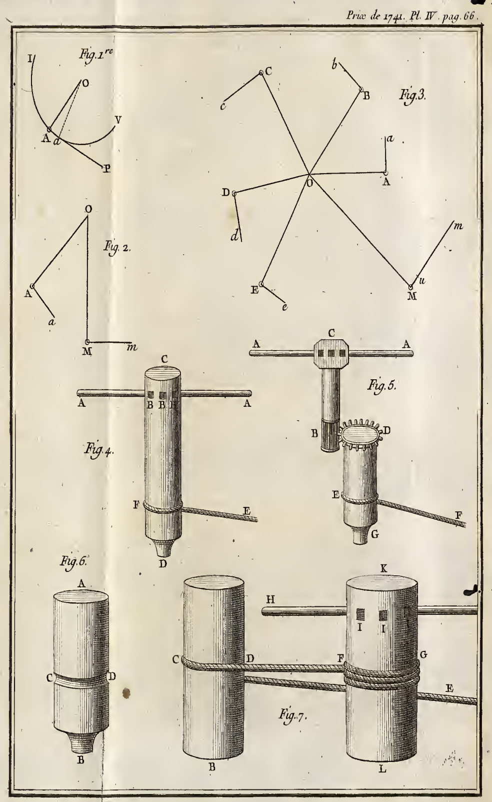
car il ne faut chercher du remede à cet inconvénient que dans une ſtructure particuliere du Treuil autour duquel la Tournevire ſe roule, & dans la maniere de la rouler. Ainſi la conſtruction la plus avantageuſe du Cabeſtan, demeure toujours la même, & la queſtion dont il s'agit à préſent, eſt abſolument détachée de la précédente. Il ne pourra donc pas y avoir de contradictions entre les deux ſolutions. C'eſt pourquoi la premiere étant donnée, il ne me reſte qu'à trouver la ſeconde pour ſatisfaire pleinement à la queſtion propoſée par l'illuſtre Académie Royale des Sciences.

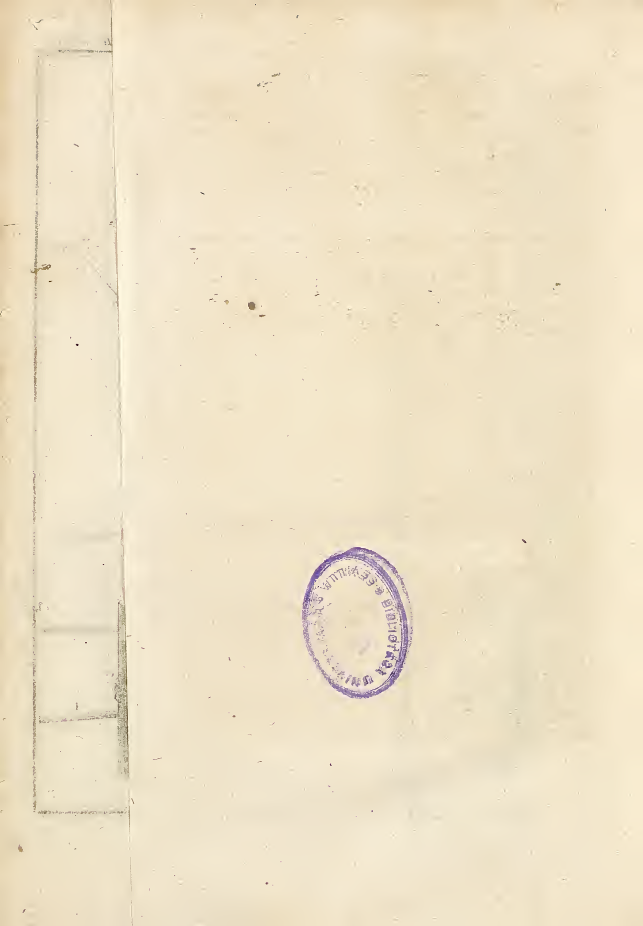
§. XLVIII. Quoique ces deux queſtions que je me ſuis formées, ne dépendent point l'une de l'autre, cependant la ſolution de la premiere eſt d'un grand avantage pour réſoudre la ſeconde. Car comme le manque d'eſpace ſur lequel le cordage ſe roule, oblige principalement à choquer, on éviteroit ou au moins on diminueroit très-conſidérablement cet inconvénient, ſi on faiſoit le Treuil aſſez long & aſſez gros pour que tout le cordage, ou au moins une plus grande partie pût ſe dévider deſſus. Or la ſolution précédente, où j'ai déterminé la meilleure ſtructure du Cabeſtan compoſé à lanterne, fait voir clairement, ce qui d'ailleurs pouvoit paroître paradoxe, que l'accélération du fardeau ni la perfection du Cabeſtan, ne dépendent point de l'épaiſſeur du Treuil *D G*. C'eſt pourquoi puiſque la quantité du Treuil *D G* eſt encore indéterminée, il ſera très-avantageux de le faire auſſi grand qu'il ſe pourra, & de l'allonger de façon qu'il paſſe d'un pont à l'autre. En lui donnant donc le plus d'épaiſſeur & de longueur que les autres circonſtances, auſquelles il faut refléchir, le permettront, on gagnera l'avantage de n'être plus obligé à choquer, ou du moins de choquer beaucoup moins ſouvent. Et tout cela ſe pourra pratiquer ſans faire le moindre tort aux avantages de notre Cabeſtan, mentionnés ci-deſſus.

§. XLIX. Quoiqu'il me ſemble avoir déja ſatisfait pleinement à la queſtion, ayant fait voir très-clairement par le calcul appuyé ſur des principes géométriquement dé-

montrés, qu'on peut groſſir le Treuil très-conſidérablement ſans rien diminuer à la vîteſſe & à la promptitude de la Machine; cependant je propoſerai encore un autre expédient pour n'être pas obligé de choquer la Tournevire, afin que ſi quelques circonſtances empêchoient le groſſiſſement du Treuil, on pût avoir recours à celui-ci. Ma penſée eſt de faire enſorte qu'il ne ſoit pas néceſſaire que le cordage faſſe pluſieurs tours ſur le Treuil quand on le vire, & qu'il reſte toujours au même endroit de l'eſſieu. Sans contredit ſi cela réuſſit, on évitera non-ſeulement tous les inconvéniens que le fréquent choquement occaſionne, mais même la Machine en deviendra par-là plus parfaite & plus commode à manier. Car alors on pourra ſe ſervir d'un Treuil beaucoup plus court & moins embarraſſant; ce qui rendra le Cabeſtan beaucoup plus léger & plus facile à manier, ſans parler de quantité d'autres avantages.

§. L. Lorſque le cable fait plus d'un tour ſur le Treuil, il faut de néceſſité que lorſqu'on vire au Cabeſtan, les tours du cable montent ou deſcendent, & cela à chaque tour de toute la groſſeur du cordage. Il n'y a donc d'autre remede à cela, ſinon de faire enſorte que le cordage ne faſſe jamais un tour entier; voici comme on pourroit y parvenir. *Fig. 6.* Il faut faire autour de l'arbre *A B* une cannelure *C B* à permettre au cable de s'y enfoncer à moitié; il faut enſuite que cette cannelure ſoit extrêmement rude, afin que le cordage venant à être tendu, ne puiſſe pas gliſſer à cauſe du grand frottement; ce qui ſera encore moins à craindre ſi l'eſſieu eſt fort gros. Après cela on manœuvrera de cette *Fig. 7.* ſorte. On fera entrer dans la cannelure *C D* le cable *E*, au bout duquel eſt attaché l'ancre ou le fardeau qu'on veut enlever, de façon pourtant qu'il ne faſſe pas un tour entier; & on l'étendra de *D* en *F*, ou on le roulera en *G F* autour d'un autre Treuil *K L*. La Machine étant en cet état, pour peu qu'on emploïe de force pour tourner le Treuil *K L*, on tiendra le cable *F D* tendu, & cette force quoique très-petite, avec le frottement de la cannelure ſuffira pour


Fig. 1.re
I
O
V
A
d
P
Fig. 2.
O
A
a
M
m
Fig. 3.
C
c
b
B
a
A
O
D
d
m
u
E
e
M
Fig. 4.
C
A
A
B
B
H
F
E
D
Fig. 5.
C
A
A
B
D
E
F
G
Fig. 6.
A
C
D
B
Fig. 7.
K
H
I
I
C
D
F
G
E
B
L



empêcher que le cable ne gliſſe ſur le Treuil CD. De cette maniere donc on pourra continuer l'opération ſans aucune interruption, quelque longueur qu'ait le cable. Car quant à celui qu'on vire ſur l'arbre KL, on n'aura pas beſoin de choquer, parce que la force qu'on y employe n'eſt pas grande, & que le redoublement du cordage ne cauſera pas de difficultés.

SUPPLEMENT.

§. I. QUelles que ſoient les raiſons que l'illuſtre Académie a eues de différer encore deux années à prononcer ſur la queſtion touchant la meilleure maniere de conſtruire le Cabeſtan, je dois convenir que ce délai eſt arrivé très-heureuſement pour moi; car effectivement dans ma Diſſertation précédente, après avoir examiné la conſtruction des Machines en général, & déterminé la diſpoſition la plus avantageuſe des parties d'une Machine quelconque, il ne me reſta plus aſſez de tems pour m'attacher plus particuliérement au nœud de la queſtion, & pour développer tous les avantages qui découlent de ma théorie, touchant la perfection du Cabeſtan; mais ces deux années ſont venues très-favorablement me donner tout le loiſir néceſſaire pour mieux approfondir cette matiere, & pour penſer à une Machine qui ſatisfît pleinement à la queſtion. A dire le vrai, il ne me paroiſſoit pas alors à moi-même que je l'euſſe parfaitement réſolue & levé toutes les difficultés, qui ſont très-grandes; mais content de la ſolution qu'en donnoit ma théorie, je me voyois obligé de laiſſer à d'autres le ſoin d'appliquer celle-ci à la pratique. Quoique ma théorie n'ait plus beſoin d'être perfectionnée, elle ne peut pourtant ſervir qu'à pouvoir juger ſainement d'une Machine déja inventée, & à lui donner le dernier dégré de perfection; mais elle ne donne aucune ouverture à qui veut

inventer. On ne doit en attendre du fecours, que lorfqu'on s'eft déja formé l'idée d'une Machine; alors on fentira combien cette théorie eft utile pour déterminer la proportion que les parties doivent avoir entr'elles, & leur arrangement, afin que l'effet qu'on attend de certaines forces données, foit produit le plus promptement.

§. II. De cette façon la folution doit avoir deux parties: la premiere doit rouler en général fur la forme de la Machine qu'on a inventée; c'eft-à-dire, dans le cas préfent, qu'il faut premierement fixer les puiffances, auffi-bien que les inftrumens pour lever les ancres, & pour exécuter les autres manœuvres aufquelles on emploie le Cabeftan. Dans la feconde, étant données la ftructure de la Machine en général, la puiffance & le fardeau, il s'agit de déterminer par des régles infaillibles chaque partie de la Machine, pour que l'effet en foit le plus prompt. Quant à cette feconde partie, il me femble que je l'ai prefque tout-à-fait épuifée dans ma premiere Differtation; car par la théorie que j'y ai établie, on eft en état de déterminer le plus haut point de perfection dont chaque Machine eft fufceptible, & de l'y porter. Soit donc qu'on conferve les Cabeftans ordinaires, foit qu'on en invente de nouveaux, ma théorie rendra toujours les mêmes fervices, en leur donnant le plus haut dégré de perfection.

§. III. Si pour traiter cette feconde Partie, il faut néceffairement avoir recours à la pure Géométrie & aux Régles que j'ai établies avec évidence dans ma premiere Differtation, la premiere Partie au contraire, ne dépend que du génie de l'Inventeur, qui doit porter fon attention fur toutes les circonftances & fur tous les inconvéniens attachés à l'opération qu'il a en vue. Cette Partie donc ne demande d'autres régles que celles que la pratique fournit, & qui vont à rendre la manœuvre plus aifée. Pour cet effet il faut choifir entre toutes les Machines fimples, celles qui paroiffent les plus propres à faire l'effet qu'on fouhaite, & refléchir fur tous les obftacles & toutes les difficultés qui peu-

vent arrêter ou retarder la manœuvre; après quoi il ne reste qu'à imaginer une Machine exempte, le plus qu'il est possible, de tous ces inconvéniens. Nous avons une obligation très-particuliere à l'illustre Académie Royale, de ce qu'elle a bien voulu faire le détail de tous les inconvéniens ausquels les Cabestans ordinaires sont sujets, & indiquer ceux ausquels elle souhaite qu'on remédie. Matiere effectivement capable d'exercer l'esprit, & digne de ses recherches.

§. IV. De toutes les espéces de Machines simples qu'on peut employer pour lever une ancre, le Treuil, sans contredit, est la plus convenable. Non-seulement toutes celles dont on se sert actuellement, ou qu'on a proposées, sont prises de cette classe; mais de plus, toutes les autres, comme les vis & les poulies, seroient ou trop incommodes, ou feroient perdre trop de tems, si l'on vouloit en faire usage. C'est pourquoi il faut s'en tenir au Treuil, & partant à la forme des Cabestans ordinaires, soit simples, soit doubles. Mais nous verrons dans la suite, après avoir expliqué la maniere dont on léve l'ancre, s'il vaut mieux se servir d'un Cabestan simple, ou d'un composé.

§. V. Comme il est impossible que le cable qui soutient l'ancre, tourne sur le Cabestan & l'enveloppe à cause de sa trop grande épaisseur, on se sert communément sur les grands vaisseaux d'une autre corde, nommée Tournevire, assez forte pour tirer le cable avec l'ancre, mais cependant assez souple pour être roulée sur le Cabestan. Il faut donc amarrer continuellement, par le moyen des bosses, le cable à la Tournevire; & dès que chaque partie du cable amarrée est parvenue au Cabestan, il faut la délier, & cette opération se répete jusqu'à ce que l'ancre soit levée.

§. VI. Les inconvéniens attachés à cette manœuvre, sont de deux sortes. Premiérement, cette néceffité où l'on est d'amarrer & de délier la Tournevire au cable, rend cette manœuvre très-lente & bien pénible, & qui devient très-difficile s'il survient une tempête. En second lieu, quoique

la Tournevire ſe développe à meſure qu'on la vire ſur le Cabeſtan, cependant comme elle fait pluſieurs tours ſur le Cabeſtan, ces tours doivent néceſſairement monter ou deſcendre; ce qui fait que lorſqu'ils ſont parvenus à une extrémité du Cabeſtan, il faut interrompre l'opération pour remettre la Tournevire à ſa premiere place. Outre cela il faut prendre garde qu'elle ne ſe replie ſur elle-même; & quand cela arrive, ce n'eſt pas ſans peine & ſans perdre beaucoup de tems, ſouvent ſi précieux, qu'on la remet en état. Tout cela, comme on voit, rend cette manœuvre peſante & embarraſſée.

§. VII. Pour ſe débarraſſer donc de tant de difficultés qui accompagnent la méthode ordinaire de lever l'ancre, le moyen le plus sûr & peut-être l'unique, à mon avis, ſeroit d'abolir l'uſage de la Tournevire, & de faire travailler la Machine immédiatement ſur le cable. Si cela ſe pouvoit faire, on ſe délivreroit de l'inconvénient de lier & délier continuellement la Tournevire: & le ſecond qui réſulte du fréquent choquement de la Tournevire, diſparoît en même tems; car comme la roideur du cable empêche qu'il ne ſe puiſſe rouler ſur le Cabeſtan, ce ſecond inconvénient ne peut avoir lieu ici. C'étoit-là l'idée que je m'étois formée dans ma Diſſertation précédente, où je voulois qu'on appliquât le cable ſur un cylindre aſſez ample, de façon qu'il ne fît pas un tour entier. Par-là je croyois gagner cet avantage, que le cable reſteroit toujours à la même place ſur le Cabeſtan; mais cependant je compris aiſément que de la maniere que j'avois propoſée, le frottement ſeul ne pourroit pas contrebalancer le poids de l'ancre: ce qui m'oblige d'abandonner tout-à-fait cette idée.

§. VIII. Malgré cela je perſiſte cependant à croire qu'on peut appliquer ſur une portion de la circonférence du Cabeſtan le cable, enſorte que le mouvement du Cabeſtan le faſſe avancer, & que l'ancre ſe léve ſans que le poids & la réſiſtance de l'ancre oblige le cable de céder ou de gliſſer ſur la ſurface du Cabeſtan, quoiqu'il n'en touche qu'une

petite partie. Si je fais voir que cela eſt poſſible, il me ſemble que j'aurai levé toutes les difficultés auſquelles la maniere ordinaire eſt ſujette. Car premiérement le Cabeſtan agira d'un mouvement continu & ſans interruption, par conſéquent le cable ſera tiré d'un mouvement égal & uniforme, & toute la manœuvre s'achevera tout de ſuite & ſans perdre inutilement du tems.

§. IX. Comme c'eſt dans cette application immédiate du cable ſur le Cabeſtan, que conſiſte ce qu'il y a de particulier dans mon idée, il ſera à propos de l'expliquer d'abord. Que *BCEO* repréſente une ſection horizontale du Cabeſtan faite à l'endroit ſur lequel le cable s'applique : que le Cabeſtan lui-même ſoit mobile autour de l'axe vertical qui paſſe par le centre *O* de la ſection, comme ils le ſont ordinairement. Soit de plus *A b c D* un cable attaché à ſon ancre du côté *A*, qui ne touche le Cabeſtan qu'en *B C*; mais qui y ſoit pour ainſi-dire tellement comme colé, qu'aucune force ſi grande qu'elle ſoit, ne puiſſe le faire gliſſer. Le Cabeſtan donc étant en repos, le cable tiendra de cette maniere l'ancre ſuſpendue, laquelle ne pourra deſcendre malgré tout ſon poids. Si l'on vient à virer le Cabeſtan dans le ſens *B C E*, on aménera néceſſairement le cable, & l'ancre s'enlevera, & cela juſqu'à ce qu'elle ſoit hors de l'eau. Ainſi rien n'arrêtera ni n'interrompra cette manœuvre, pourvû que le cable tienne ſi fort au Cabeſtan, qu'il ne lui ſoit pas poſſible de gliſſer. *Fig. 1.*

§. X. Cette forte adhéſion du cable au Cabeſtan, fera donc l'objet principal de mes recherches. Si c'eſt avec ſuccès, & que j'indique une maniere commode & sûre de produire cette adhéſion, il faudra tomber d'accord non-ſeulement que ma Méthode de lever l'ancre eſt préférable à la Méthode où l'on ſe ſert de la Tournevire, mais outre cela qu'elle eſt ſi parfaite qu'il n'eſt pas poſſible d'en ſouhaiter une qui le ſoit plus, pas même de l'imaginer. La premiere choſe cependant à laquelle il faut penſer, c'eſt de faire que cette portion du Cabeſtan où le cable s'ajuſte, ſoit aſſez

ample pour qu'il en puiſſe prendre la courbure aiſément, au moins celle de l'arc *B C*. Je montrerai ci-après comment cela ſe peut faire, ſans préjudice de l'effet des forces mouvantes.

§. XI. Pour mieux comprendre cela, on peut concevoir que le Cabeſtan a dans cet endroit une canelure proportionnée à la groſſeur du cable, & garnie de pointes aſſez fortes, qui s'inſinuant dans le cable l'empêchent de gliſſer, & le font obéir au mouvement du Cabeſtan. Du reſte je ne propoſe cette idée que pour faire voir d'abord qu'il eſt poſſible que le cable ſoit tiré immédiatement par le Cabeſtan ; car je ſuis bien éloigné de croire que cela ſoit praticable. Combien d'inconvéniens n'auroit point l'uſage de ces pointes ? Elles auroient bien-tôt déchiré le cable, dont la conſervation eſt trop de conſéquence ; mais ſur-tout il ſeroit à craindre qu'à cauſe de ſa roideur il ne ſe dégageât de ces pointes, ou qu'il ne les arrachât, auquel cas l'ancre retomberoit auſſi-tôt.

§. XII. Ces raiſons m'obligent donc à recourir à d'autres expédiens pour faire ſuivre au cable le mouvement du Cabeſtan, pour empêcher qu'il ne gliſſe, qu'outre cela il ne ſe détériore, & enfin pour que toute la manœuvre s'exécute ſans danger, & ſans craindre que le gliſſement du cable ne la rende vaine. J'ai imaginé ſuivant ces vues, deux Machines ; c'eſt à l'illuſtre Académie à décider laquelle des deux mérite la préférence. Pour moi il me ſemble que l'une & l'autre ſatisfont à la queſtion, & que leur manœuvre ſera aſſez prompte, ſans obſtacle, & à l'abri de tout accident.

§. XIII. Tout le monde ſçait qu'il y a une très-grande force dans le frottement. On le peut augmenter, ſoit par la preſſion, ſoit en rendant les ſurfaces rudes & raboteuſes, au point de pouvoir réſiſter à une très-grande puiſſance. C'eſt non-ſeulement ce que l'expérience confirme ; mais de plus on peut augmenter le frottement autant qu'on le veut, ce qui peut ſervir utilement à mon deſſein ; car la

Machine

Machine que je viens d'ébaucher, requiert un frottement capable d'empêcher que la pésanteur de l'ancre, ou même un poids beaucoup plus grand ne puisse faire glisser le cable sur le Cabestan, quoiqu'il ne le touche que dans une portion de sa circonférence. J'ai imaginé deux moyens de produire & de multiplier tant qu'on voudra ce frottement, d'où résulteront deux espéces de Cabestans qui pourront s'ils trouvent de l'approbation, servir à toutes les manœuvres ausquelles ces Machines sont ordinairement destinées. Toute la différence qu'il y aura entre les Cabestans ordinaires & les miens, c'est que par le moyen de ceux-ci, la manœuvre quelle qu'elle puisse être, s'exécutera sans Tournevire & sans tant d'embarras, d'un mouvement égal & non interrompu.

§. XIV. Dans la premiere de ces deux Machines, je multiplie le frottement autant qu'il est nécessaire, par la pression du cable sur le Cabestan dont la surface peut être raboteuse, quoique cependant il suffise simplement qu'elle ne soit pas polie. Tout cela me semble très-praticable; car il y a beaucoup plus de difficulté à diminuer le frottement dans les Machines, qu'à le multiplier. Il s'y produit souvent beaucoup plus qu'on ne le voudroit. Il me paroît donc que c'est une chose très-aisée à introduire dans toutes sortes de Machines, sans avoir besoin d'appuyer mon sentiment sur plusieurs expériences.

§. XV. Soit donc derechef le cercle *BCE* une section horizontale du Cabestan faite à l'endroit où il reçoit le cable. Qu'il y ait là une canelure dont la surface soit très-inégale & raboteuse, sans pourtant que ces aspérités puissent endommager le cable, mais aussi assez fortes pour n'être pas sitôt applanies. Que le cable *ABCD* soit appliqué au Cabestan, de façon qu'il n'y ait que la portion *BFC* qui le touche & s'engage dans la canelure. Pour serrer cette portion contre le Cabestan, soient trois ou plusieurs poulies *F*, *G*, *H*, très-mobiles autour de leurs axes *f*, *g*, *h*, & qu'on puisse approcher du cable, & ensuite arrêter par le moyen des clous *Fig.* 2.

ou des vis p, q. Comme cet artifice eſt ſimple & ſans difficulté, l'adreſſe de l'ouvrier peut aiſément ſuppléer au reſte.

§. XVI. Ces poulies donc pourront ſerrer très-fortement le cable contre le Cabeſtan, & par conſéquent augmenter de telle ſorte le frottement, que le cable ne pourra pas échapper. De plus, ces poulies pourront auſſi avoir tout autour une canelure fort raboteuſe; & pour empêcher le cable de reculer, il faudra qu'elles ne puiſſent tourner que d'un côté, ſuivant la direction *ABC*, c'eſt-à-dire, en même ſens que le Cabeſtan. C'eſt pourquoi on garnira ces poulies de roues à dents, comme il eſt repréſenté en *G*, de maniere que le crochet d'arrêt empêchera la poulie de tourner en ſens contraire. Or non-ſeulement il faut que toutes les poulies ſoient faites de cette ſorte, mais auſſi le Cabeſtan lui-même doit être garni comme à l'ordinaire de ſes clinquets & taquets, afin qu'il ſe trouve arrêté dès que la force mouvante ceſſe d'agir.

§. XVII. Maintenant on conçoit ſans peine quel ſera l'effet d'un Cabeſtan conſtruit de cette façon. Premiérement, ſi l'action des forces motrices vient à ceſſer tout à coup, non-ſeulement toute la Machine demeurera en répos, mais de plus l'ancre reſtera ſuſpendue ſans pouvoir retomber. Or comme ni le Cabeſtan ni les poulies qui compriment le cable, ne peuvent tourner dans le ſens auquel les ſollicite le poids de l'ancre, celle-ci ne pourra pas deſcendre, à moins que l'effort qu'elle fait pour cet effet, ne ſoit tel qu'il ſurmonte le frottement & faſſe gliſſer le cable entre le Cabeſtan & les poulies. Mais on peut ſi aiſément augmenter le frottement, ſoit en faiſant, comme je l'ai dit, les canelures des poulies & du Cabeſtan très-raboteuſes, ou en redoublant la compreſſion, qu'il ſera capable de réſiſter à une force dix fois plus grande que n'eſt celle avec laquelle l'ancre tend à deſcendre. On pourroit alléguer à ce ſujet quantité d'expériences ſur la force du frottement, ſi la choſe n'étoit par elle-même aſſez claire, & ſi l'on ne pouvoit pas augmenter tant que l'on veut le frottement, ou

par la preſſion, ou par le nombre des poulies. Je ſuis d'opinion que trois, ou tout au plus quatre, peuvent ſuffire pour l'ancre la plus péſante.

§. XVIII. La Machine ſoutiendra donc de cette maniere l'ancre, quelque péſante qu'elle ſoit, nonobſtant que les forces n'agiſſent plus. Or il eſt manifeſte que ſi on vient à en employer aſſez pour tourner le Cabeſtan, alors l'ancre s'élévera ; car ſi le Cabeſtan tourne du ſens *BCE*, il faut néceſſairement que le cable qui ſuit ce mouvement, léve l'ancre. Les poulies qui ſerrent le cable n'y apporteront aucun obſtacle, puiſqu'elles ſe meuvent très librement autour de leurs axes, j'entends du côté que le cable doit ſe mouvoir pour lever l'ancre : opération qui, comme on voit, ſe fera d'un mouvement égal & continu, ſans qu'il puiſſe naître d'empêchemens qui la puiſſent retarder ou interrompre, à quelque profondeur que l'ancre ſe trouve. C'eſt pourquoi je ne doute nullement que ma Méthode ne mérite d'être préférée à la maniere vulgaire, vû qu'elle eſt non-ſeulement exemte de tous les inconvéniens qu'a celle-ci, mais qu'outre cela elle eſt auſſi ſimple & auſſi expéditive qu'il eſt poſſible de l'imaginer.

§. XIX. On pourroit objecter que cette compreſſion du cable, rend le virement au Cabeſtan plus difficile. Je l'avoue. Mais cette difficulté me ſemble ſi peu de choſe, qu'elle doit diſparoître en comparaiſon de tous les avantages qu'on a d'ailleurs. Pour la lever, il n'y a qu'à augmenter tant ſoit peu les forces. Cependant je vais donner une autre maniere de Cabeſtan exemte de ce défaut, ſuppoſé que c'en ſoit un. Le fondement de cette Machine eſt pris de ce qu'on voit faire tous les jours aux Matelots qui tirent de très-grands fardeaux avec une corde. On ne s'étonne point que la corde ne leur échappe pas des mains ; la raiſon en eſt qu'en la prenant & la ſerrant un peu, la réſiſtance du fardeau ne peut pas la faire gliſſer. C'eſt pourquoi ſi l'ancre n'étoit pas trop péſante & le cable trop épais, il eſt évident qu'on pourroit lever l'ancre en empoignant le

cable, & en le tirant avec une force suffisante.

§. XX. Mais si le poids énorme de l'ancre & la grosseur du cable rendent cet ouvrage impossible aux hommes, il ne le feroit pas cependant à des Géans d'une certaine taille. On peut les concevoir si grands qu'ils pourroient manier aussi aisément un cable que nous manions une ficelle; ainsi ils pourroient sans doute lever l'ancre avec leurs mains. Il s'agit donc de faire ensorte que le cable soit saisi, retenu & comprimé avec assez de force, pour qu'il puisse être tiré de la même maniere. C'est pourquoi si j'indique une Machine qui imite l'action de ces Géans, en prenant pour ainsi dire le cable avec les mains & en le tirant, je me flate qu'une pareille Machine satisfera parfaitement à la question que l'illustre Académie a proposée. Je ne vois pas qu'il soit difficile d'exécuter par le moyen des Machines, ce que des Géans pourroient faire avec leurs bras, & d'en inventer une propre à cet effet.

Fig. 3. §. XXI. Pour faire la fonction de mains, il faudra adapter tout autour du Cabestan, à l'endroit où passe le cable, des bras armés de tenailles, telles qu'on en voit deux représentées aux lettres *G* & *H*. Mais on en peut concevoir un plus grand nombre, à proportion de la grosseur du Cabestan. Les unes, comme *FH*, retiendront toujours le cable; car on pourra les ajuster de telle sorte, comme je le ferai voir bien-tôt, qu'à mesure qu'elles saisissent le cable, elles le serrent assez fortement, tandis que les autres comme *GE*, demeurent ouvertes & sont faites de façon que le mouvement du Cabestan les faisant avancer en *M*, elles reçoivent le cable & se referment d'abord. Outre cela chacune de ces tenailles, dès qu'elle a pincé le cable, le tient serré par l'espace d'un arc d'environ cent-vingt dégrés, après quoi elle le lâche en se rouvrant, de façon que la troisiéme partie de ces tenailles tient toujours le cable & le tire. De sorte que si le Cabestan a douze de ces bras, il y en aura continuellement quatre en action, & s'il étoit nécessaire, on en pourroit encore augmenter le nombre.

§. XXII. Voilà en général quelle eſt la Machine que je propoſe, par où l'on voit comment on peut tirer un cable & élever une ancre, ou quelque autre fardeau, par le moyen de ces tenailles. Mais je n'ai pas encore fait voir par quel méchaniſme elles pincent le cable, quand elles en approchent, & le lâchent enſuite. On comprend cependant qu'un pareil méchaniſme rendroit une Machine propre à ſervir utilement. Au reſte il faut obſerver ici qu'on doit empêcher le Cabeſtan de dévirer, de même que dans la précédente Machine, ce qui ſe fera par les moyens ordinaires. Il convient outre cela de faire les branches de ces tenailles aſſez larges pour tenir plus fortement le cable, & afin qu'elles ne puiſſent pas l'endommager, de les garnir de bon cuir.

§. XXIII. Toute la difficulté ſe réduit donc à inventer un moyen pour faire enſorte que les tenailles qui ſe trouvent du côté *G* reſtent ouvertes, & que celles qui viennent vers *H*, comme par exemple en *M*, pincent le cable, ſe referment auſſi-tôt, & le tiennent ſerré en le tirant le long d'un arc d'environ cent-vingt dégrés; qu'enſuite elles ſe rouvrent & abandonnent le cable pour être mis en ſon lieu. Pour cela, il n'y a qu'à garnir ces tenailles de reſſorts qui les tiennent continuellement ouvertes, ce qu'on peut faire très-aiſément en appliquant des lames élaſtiques & fortes, comme *g* qui repouſſent la branche ſupérieure *m G* des tenailles, qui doit avoir une charniere en *m*. La conſtruction de ces tenailles me paroît aſſez éclaircie, pour qu'un Ouvrier n'ait pas de peine à les faire.

§. XXIV. Mais pour faire que ces tenailles pincent le cable à propos, il faudra placer autour du Cabeſtan *ABC*, le corps *EFHG* fait en forme de couronne, comme la figure le repréſente, & l'aſſurer très-fortement. C'eſt pardeſſous ce corps que les tenailles ſe meuvent quand on vire au Cabeſtan. Cette eſpéce de couronne doit avoir plus d'épaiſſeur du côté *FHf*, que du côté *EGe*, afin que les tenailles qui ſe trouvent ſous la partie mince *Ge*, puiſſent reſter ouvertes, leurs branches fort écartées, tandis que les *Fig. 4.*

autres qui viennent ſous la partie épaiſſe *f H*, ſont obligées de ſerrer le cable, puiſque la branche ſupérieure qui eſt mobile, eſt forcée à ſe baiſſer. Mais pour que le mouvement de ces tenailles lorſqu'elles paſſent ſous ce corps circulaire, ſe faſſe ſans frottement ſenſible, on voit aſſez, ſans que je le diſe, qu'il n'y a qu'à garnir de roulettes le deſſus des branches ſupérieures des tenailles.

§. XXV. La Machine étant donc toute préparée comme on vient de le dire, & jouant, les tenailles parviendront de *G* en *e* ouvertes, là chacune recevra le cable qu'on aura conduit & dirigé vers *e* par le moyen des poulies *p* & *q*. Enſuite dès que la tenaille parcourt l'eſpace *ef*, & eſt parvenue à l'endroit le plus abaiſſé de la couronne, la branche ſupérieure ſera comprimée, ainſi la tenaille ſe fermera, tiendra le cable très-ferme, & le tirera juſqu'à ce que parvenue en *k* où la couronne perd de ſon épaiſſeur, elle ſe rouvre & lâche priſe.

§. XXVI. Si l'on veut que cette Machine ne manque jamais de produire ſon effet, il faut faire enſorte qu'on puiſſe baiſſer plus ou moins cette couronne par le moyen des vis; ce qui eſt d'une néceſſité indiſpenſable, vû la différente groſſeur des cables dont les uns demandent d'être ſerrés plus fortement que les autres. L'on pourra donc agencer cette couronne, de ſorte que les tenailles ſerreront autant qu'il faudra. Effectivement toute la difficulté que cette opération peut avoir, conſiſte à ne pas ſerrer trop ni trop peu les tenailles; car ſi elles étoient trop ſerrées, cela arrêteroit de beaucoup le mouvement, ou du moins le rendroit trop pénible: & ſi elles l'étoient trop peu, il ſeroit à craindre que le cable n'échappât aux tenailles, & ne fût emporté par le fardeau. On peut aiſément parer ces deux inconvéniens par l'expédient que j'ai indiqué, c'eſt-à-dire, en faiſant qu'on puiſſe abaiſſer la couronne à ſon gré par le moyen des vis.

§. XXVII. Voilà donc la deſcription de la ſeconde Machine, qui, de même que la premiere, me paroît pro-

pre à lever l'ancre sûrement, d'un mouvement suivi & sans tous les embarras qui accompagnent les méthodes jusqu'à présent usitées. L'une & l'autre peut être employée non-seulement à lever l'ancre, mais aussi à tous les autres usages, ausquels les Cabestans sont ordinairement destinés. Je me flate que ces deux Machines satisfont à la question que l'illustre Académie Royale a proposée, puisque non-seulement j'ai remédié aux inconvéniens qui naissent de la Tournevire & des fréquentes interruptions, mais de plus que j'ai donné deux Machines dont on peut faire usage en mer, & même dans le fort d'une tempête, avec autant de commodité & de sûreté que sur terre. Comme on ne pourroit pas exiger sur terre plus de perfection dans ces Machines, à plus forte raison n'en peut-on pas souhaiter de plus commodes sur mer.

§. XXVIII. Maintenant après avoir donné deux manieres de construire cette partie du Cabestan qui agit immédiatement sur le cable, il nous reste à décrire l'autre partie de cette Machine, c'est-à-dire, celle à laquelle s'appliquent les forces motrices, & qui va aboutir à celle dont nous avons fait la description. Dans ces deux manieres le reste du Cabestan peut être le même, puisque la force que le Cabestan a dans l'un & l'autre cas à surmonter de la part du fardeau, est presque la même. Car outre que le cable dans ces deux Machines se trouve également éloigné de l'axe de mouvement du Cabestan, c'est-à-dire, autant qu'il le faut pour que le cable se puisse courber; la résistance aussi que produit le frottement, est presque égale de part & d'autre: d'où il suit que dans les deux cas, on n'a pas besoin de varier la construction de la partie supérieure du Cabestan.

§. XXIX. Puis donc que le cable se trouve à une aussi grande distance de l'axe du Cabestan, & que le rayon du cercle que le cable décrit autour du Cabestan, est beaucoup plus grand que celui que décrit ordinairement la Tournevire, il n'y a plus moyen de se servir du Cabestan

ſimple : car je n'ai d'autres forces pour faire agir mes Machines, que celles qu'on employe aux Cabeſtans ſimples. Or il faudroit, pour toutes les deux, des barres qui fuſſent d'autant plus longues que les ordinaires, que le cable, ſuivant mon idée, ſe doit trouver plus éloigné de l'axe de mouvement, que ne l'eſt ordinairement la Tournevire. Mais il réſulteroit de-là que les barres ſeroient ſi exceſſivement longues, qu'on ne pourroit pas même s'en ſervir ſur les plus grands vaiſſeaux.

§. XXX. Pour remédier donc à cette prodigieuſe longueur des barres, & pour compenſer l'effet qu'elles auroient produit ſur les Cabeſtans ſimples, il n'y a point d'autre parti à prendre que de faire un Cabeſtan compoſé, qui conſiſte en deux cylindres, une roue à dents, & une lanterne par où ils ſe communiquent. L'Equipage manœuvrera à l'un de ces cylindres, tandis que l'autre aménera l'ancre ou tel autre fardeau qu'on voudra. Celui-ci pourra être conſtruit d'une de ces deux manieres que j'ai expliquées, enſorte que le cable ſoit ou comprimé par les poulies, ou pincé par les tenailles. C'eſt pourquoi il faut faire voir maintenant quelle longueur on doit donner aux barres qui doivent agir ſur le cylindre ſupérieur, & quelle doit être la raiſon entre la roue à dents, & les barreaux de la lanterne, ou entre les vîteſſes des deux cylindres, afin que l'opération s'achéve le plus promptement qu'il eſt poſſible. Pour faire cette recherche, j'aurai recours aux régles contenues dans la Diſſertation que j'envoyai il y a deux ans.

Fig. 5. §. XXXI. Concevons donc un Cabeſtan compoſé, comme il eſt repréſenté dans la figure. Qu'il conſiſte en deux cylindres *AB* & *CD*, dont l'inférieur *CD* eſt placé entre le premier pont *RS*, & le ſecond *PQ*; & que le cylindre ſupérieur *AB* s'éléve au-deſſus du ſecond pont *PQ* : qu'ils ſoient joints l'un à l'autre par le moyen de la lanterne *B* attachée au cylindre ſupérieur, & de la roue à dents dont l'inférieur eſt bordé : que celui-ci agiſſe ſur le

cable

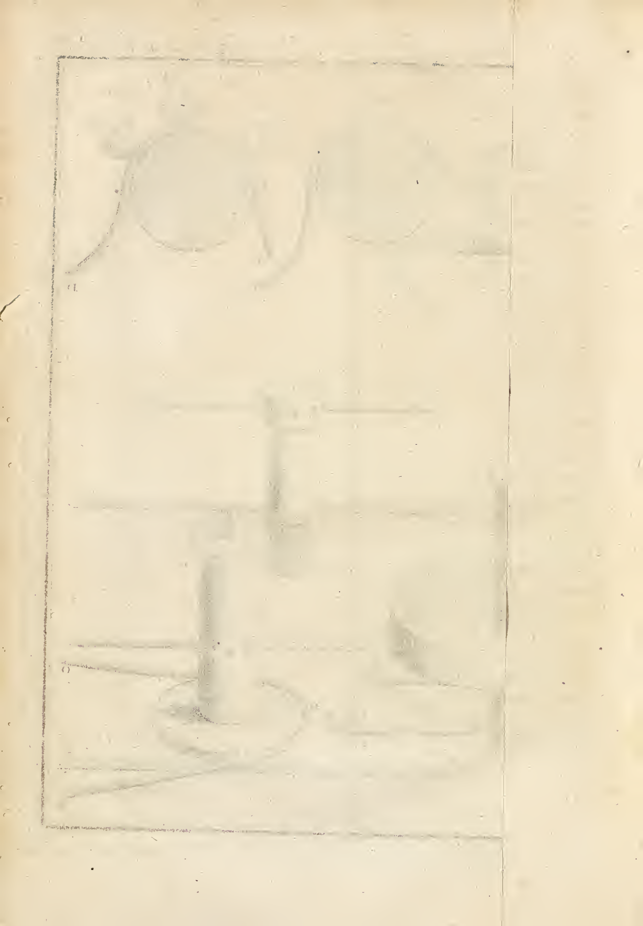
Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3

Fig. 4.

Fig. 5.



cable $MNHO$ en le tirant de l'une ou de l'autre maniere décrites ci-dessus ; c'est pourquoi la façon dont le cable est tiré, n'est pas exprimée dans la figure, les descriptions précédentes pouvant y suppléer, quelle que soit la maniere qu'on ait choisie. De plus, on pourra construire cette Machine de façon qu'on puisse virer les deux cylindres en même tems, & c'est la raison pour laquelle j'ai mis des barres aux deux cylindres dans la figure. Je me souviens d'avoir vû la même chose dans les Machines approuvées par l'Académie, & je suis fort persuadé que cela peut s'exécuter très-aisément.

§. XXXII. Appliquons maintenant les régles que j'ai données dans ma Dissertation précédente, pour donner toute la perfection possible aux Machines, & leur faire produire leur effet le plus promptement qu'il se peut. Soit le nombre des dents de la roue $C = m$, & le nombre des barreaux de la lanterne $B = n$: partant la vîtesse angulaire du cylindre supérieur, sera à la vîtesse angulaire de l'inférieur comme m à n. Soit de plus la longueur des barres des deux cylindres, ou plutôt la distance du point de chaque barre où la force est appliquée à l'axe du cylindre $= f$, & la distance du cable H à l'axe du cylindre inférieur $HD = h$. C'est de cette distance que dépend le moment du fardeau. Outre cela que toute la force qui meut chaque cylindre soit $= p$, force à laquelle soit jointe une matiere ou inertie $= P$, & que la résistance du poids qu'on veut tirer, soit q, & son inertie Q. Soit enfin le frotement de toute la Machine, par rapport à la force résistante du fardeau $= \varphi$, ensorte que le total de la résistance que la Machine doit vaincre, soit $= q + \varphi$.

§. XXXIII. Qu'on suppose à présent le poids du cylindre supérieur $= A$, le rayon de sa section $= a$, ensorte que le moment d'inertie de ce cylindre est $= \frac{Aa^2}{2}$. Que le poids de l'inférieur soit $= C$, & le rayon de sa section $= c$, & partant son moment d'inertie sera $= \frac{1}{2} Cc^2$.

Or le moment de la force p qui fait mouvoir le cylindre supérieur est $= fp$, d'où résulte le moment qui fera agir l'inférieur $= \frac{m}{n} fp$, lequel est mû lui-même par la force p qui lui est appliquée, dont le moment est fp, ensorte que le moment total qui fera tourner le cylindre inférieur est $\frac{m+n}{n} fp$; d'où si l'on soustrait le moment de la force qui s'oppose au virement de ce cylindre, & qui est $= h(q + \varphi)$ on aura le moment vrai & actuel qui fait tourner le cylindre inférieur $= \frac{m+n}{n} fp - h(q + \varphi)$.

§. XXXIV. Cherchons maintenant le moment d'inertie de toute la matiere qui doit être mise en mouvement. Premiérement, le moment d'inertie du fardeau est $= Q h^2$ & celui du cylindre inférieur $= \frac{1}{2} C c^2$. Ensuite le moment d'inertie qui naît de la matiere, jointe à la force p qui fait tourner le cylindre inférieur, est $P f^2$. Enfin le moment d'inertie & de la force qui fait agir le cylindre supérieur, & du cylindre lui-même, est ensemble $= P f^2 + \frac{1}{2} A a^2$, si l'on a égard au mouvement de rotation du cylindre supérieur: c'est pourquoi ce moment par rapport au moment de rotation du cylindre inférieur, sera $= \frac{m^2}{n^2} (P f^2 + \frac{1}{2} A a^2)$ comme je l'ai fait voir dans ma Dissertation. De tout cela il résulte que le moment total d'inertie, par rapport à la rotation du cylindre inférieur, sera $= Q h^2 + \frac{1}{2} C c^2 + P f^2 + \frac{m^2}{n^2} (P f^2 + \frac{1}{2} A a^2)$; mais par rapport aussi à la même rotation, le moment de la force qui fait tourner, est $= \frac{m+n}{n} fp - h(q + \varphi)$. C'est pourquoi la force avec laquelle le cylindre inférieur sera tourné, & par conséquent le poids tiré sera $= \dfrac{\frac{m+n}{n} fp - h(q + \varphi)}{\frac{m^2+n^2}{n^2} P f^2 + Q h^2 + \frac{m^2}{2nn} A a^2 + \frac{1}{2} C c^2}$, d'où résulte finalement la force qui accélere le mouve-

ment du poids $= \dfrac{\frac{m+n}{n} f h p - h h (q + \varphi)}{\frac{m^2 + n^2}{n^2} P f^2 + Q h^2 + \frac{m^2}{2 n^2} A a^2 + \frac{1}{2} C c^2}$.

§. XXXV. Voyons préfentement quelle proportion on doit donner à chaque partie de la Machine, afin que cette force accélératrice foit la plus grande, & que par conféquent le fardeau fe meuve le plus vîte qu'il fe peut. Premiérement, la valeur de la lettre h fe détermine dans cette Machine d'elle-même, puifque la diftance du cable à l'axe du cylindre doit être telle, qu'il puiffe, vû fa roideur, prendre une courbure qui réponde au rayon h; ainfi on regardera la lettre h comme une quantité conftante. En fecond lieu, la longueur des barres f eft déterminée par la grandeur du vaiffeau, enforte qu'on ne peut pas l'augmenter au-delà de certaines limites : on envifagera donc auffi f comme conftante. En troifiéme lieu, puifque la maffe de la Machine, les forces agiffantes & la réfiftance du fardeau, font données avec leurs inerties, il ne refte plus qu'à déterminer la raifon de m à n. Faifant donc $\frac{m}{n} = z$, on déterminera la lettre z, en faifant cette formule $\frac{f p z + f p - h (q + \varphi)}{(P f^2 + \frac{1}{2} A a^2) z z + P f f + Q h h + \frac{1}{2} C c^2}$ un *Maximum.*

§. XXXVI. Pour pouvoir donc traiter cette formule avec plus de facilité, felon la Méthode *de maximis & minimis*, on fera pour abreger $f p = \alpha$ & $h (q + \varphi) - f p = \beta$; car je regarde $h (q + \varphi) > f p$, parce qu'on fuppofe que la force appliquée au Cabeftan inférieur, ne peut pas feule faire avancer le fardeau. On fuppofera enfuite $P f^2 + \frac{1}{2} A a^2 = \gamma$ & $P f f + Q h^2 + \frac{1}{2} C c^2 = \delta$, & on aura cette formule $\frac{\alpha z - \beta}{\gamma z z + \delta}$, dont il faudra faire un *Maximum.* On aura donc $\alpha \delta = \alpha \gamma z z - 2 \beta \gamma z$, ou $z z = \frac{2 \beta \gamma z + \alpha \delta}{\alpha \gamma}$, d'où on tire $z = \frac{\beta \gamma + \sqrt{(\beta \beta \gamma \gamma + \alpha^2 \gamma \delta)}}{\alpha \gamma}$; c'eft-à-dire, en fubftituant les

valeurs véritables, $z = \frac{m}{n} = \frac{h(q+\varphi)}{fp} - 1 \pm \sqrt{\left(\frac{h^2(q+\varphi)^2}{ffpp} - \frac{2h(q+\varphi)}{fp} + 1 + \frac{P+ffQhh+\frac{1}{2}Cc^2}{Pff+\frac{1}{2}Aa^2}\right)}$. Au reste, où les signes sont ambigus, il n'y a que le supérieur + qui ait lieu; puisqu'autrement la valeur de la fraction $\frac{m}{n}$ deviendroit négative; ce qui ne se peut.

§. XXXVII. Appliquons à notre sujet la formule que nous venons de trouver. Premiérement Q sera $> q$, parce que l'ancre avec le cable conserve dans l'eau son inertie, quoiqu'elle perde beaucoup de son poids ou de sa résistance. Ensuite, comme les hommes qui poussent peuvent vaincre une force presque égale à celle de leurs corps, P sera à peu de chose près $= p$. Outre cela, on peut prendre hardiment à la place de la fraction $\frac{Pff+Qhh+\frac{1}{2}Cc^2}{Pff+\frac{1}{2}Aa^2}$ celle-ci $\frac{Pff+Qhh}{Pff}$, tant parce que les termes $\frac{1}{2}Cc^2 + \frac{1}{2}Aa^2$ sont très-petits, en comparaison des autres, que parce que $\frac{1}{2}Cc^2 > \frac{1}{2}Aa^2$ presque dans la même raison que $Pff + Qhh >$ Pff: c'est pourquoi on aura $\frac{m}{n} = \frac{h(q+\varphi)}{fp} - 1 + \sqrt{\left(\frac{hh(q+\varphi)^2}{ffpp} - \frac{2h(q+\varphi)}{fp} + 2 + \frac{Qhh}{ffp}\right)}$.

§. XXXVIII. Pour tirer plus d'usage de cette formule, nous supposerons $f = 2h$: ce qui se peut fort bien, puisque pour courber le cable il suffit que le rayon de sa courbure soit la moitié de la longueur des barres f, & par cette supposition il restera assez de place à ceux qui virent au cylindre inférieur. On aura par-là $\frac{m}{n} = \frac{q+\varphi}{2p} - 1 + \sqrt{\left(\frac{(q+\varphi)^2}{4pp} - \frac{(q+\varphi)}{p} + 2 + \frac{Q}{4p}\right)}$. De plus, sans trop s'écarter, on peut supposer $q+\varphi$ ou toute la résistance de l'ancre avec le frottement trois fois plus grande que la force appliquée à un seul cylindre; ensorte que la force totale appliquée aux deux cylindres, soit à la résistance $q+\varphi$, comme 2 est à 3; car il sera à propos de construire la Ma-

chine enforte que l'on puiffe lever l'ancre avec une force moindre que n'eft fon poids ; & même fi l'on vouloit en employer une plus grande, l'ouvrage s'acheveroit d'autant plus promptement. En faifant donc $\frac{q+\varphi}{p} = 3$, on aura $\frac{m}{n} = \frac{1}{2} + \sqrt{\left(\frac{1}{4} + 1 + \frac{Q}{4p}\right)}$. On peut enfin fuppofer affez sûrement l'inertie Q du fardeau qu'on doit mouvoir quatre fois plus grande que l'inertie des forces agiffantes P ou p, ce qui donnera finalement $\frac{m}{n} = \frac{1}{2} + \sqrt{2 + \frac{1}{4}} = 2$. C'eft pourquoi le nombre des dents de la roue doit être deux fois plus grand que celui des barreaux de la lanterne B, & partant tandis que le cylindre fupérieur fera deux tours, l'inférieur n'en fera qu'un.

§. XXXIX. Il réfulte prefque la même raifon, quoique les circonftances différent affez confidérablement de celles que nous avons fuppofées ; puifque près d'un *maximum* les changemens font prefque imperceptibles. Et il me femble que je ne me fuis pas beaucoup écarté par mes fuppofitions de ce qui arrive effectivement fur les vaiffeaux. Voici donc la maniere la plus commode & la plus avantageufe de conftruire un Cabeftan : c'eft premiérement de prendre pour la longueur des barres le double de la diftance qu'il y a du cable à l'axe du cylindre. Enfuite de faire que le nombre des dents de la roue C foit double de celui des barreaux de la lanterne B ; d'où il fuit que le cylindre fupérieur fe mouvera deux fois plus vîte que l'inférieur. Il faut outre cela obferver que la force qu'on applique à chaque cylindre foit égale, & de plus environ trois fois plus petite que la réfiftance du fardeau jointe au frottement. Il y a toujours fur chaque vaiffeau plus de monde qu'il n'en faut pour produire cette force. De plus l'inégalité de mouvement que j'ai établie entre les deux cylindres, me paroît raifonnable ; fi elle étoit plus grande, il arriveroit infailliblement qu'une partie de ceux qui virent au Cabeftan, iroient ou trop vîte ou trop lentement. Voilà quelles font les raifons qui me

persuadent qu'on peut introduire avec beaucoup de succès l'usage des Cabestans, tels que je viens de les décrire, & adopter mes hypothéses.

§. XL. De cette maniere on pourra donc se servir très-avantageusement de ces Cabestans, non-seulement pour lever l'ancre, mais aussi tout autre grand fardeau, puisqu'il faut à peu près la même manœuvre. Mais lorsqu'il s'agit de faire avancer horizontalement de grandes masses, où la force de la résistance q disparoît, & où il n'y a que l'inertie Q qui entre en considération, il est bien vrai qu'il faudroit souvent d'autres Cabestans, si l'on vouloit faire le plus vîte. Cependant comme pour chaque opération différente qui peut survenir on n'ira pas faire un nouveau Cabestan, on peut s'en tenir à celui que nous venons de donner, dont la manœuvre sera toujours beaucoup plus prompte que celle des Cabestans ordinaires, quoique dans certains cas elle pût l'être davantage. C'est ce que donne à connoître la force accélératrice trouvée §. 34. qui, au cas que le fardeau Q soit très-grand, deviendra beaucoup plus grande, en faisant $\frac{m}{n} = 2$, qu'elle ne le seroit, si comme dans les Cabestans simples, $\frac{m}{n}$ étoit $= 1$.

§. XLI. Au reste j'ai crû devoir passer sous silence certaines circonstances du Cabestan, moins essentielles, parce qu'elles sont très-connues; telle est, par exemple, l'épaisseur des cylindres qu'on doit déterminer sur la force qu'ils soutiennent. Outre cela, l'élinguet pour empêcher que les cylindres ne dévirent, & dont l'un ou l'autre doit être garni. Tous les deux, à mon avis, doivent l'être, & l'inférieur sans contredit, puisqu'il soutient le plus grand effort. Si le cylindre supérieur en a un, il pourra être employé seul aux manœuvres qui demandent moins de force, & fera la fonction de Cabestan simple, tel qu'en ont communément les vaisseaux. Pour le rendre plus propre à cet usage, il seroit à propos qu'on pût ôter, lorsqu'il en seroit besoin, la roue

Fig. 3.

Fig. 2.

Fig. 1.

à dents *C* du cylindre inférieur, ce qui permettroit au supérieur de virer seul. Je n'insisterai point sur les autres avantages qu'on peut retirer des Cabestans composés, puisque ceux qui en ont déja proposé l'usage, sont entrés dans ce détail.

§. XLII. J'ajouterai encore qu'ayant communiqué ces deux manieres de lever l'ancre à des personnes qui joignent à une grande pratique une connoissance de la Théorie assez étendue ; on les a trouvées très-avantageuses & très-aisément praticables. La seule chose qu'on appréhendoit, étoit que le cable sur lequel mes Cabestans agissent immédiatement, ne s'usât trop tôt. C'est pourquoi on m'a conseillé d'appliquer plutôt la Tournevire que le cable même sur mes deux Cabestans, principalement sur le dernier, en m'assurant qu'ils rendroient malgré l'usage de la Tournevire, des services très-considérables, puisque le plus grand inconvénient dans la méthode vulgaire, vient de la nécessité de choquer. J'ai tâché, comme on l'a vû, d'empêcher autant qu'il est possible que le cable ne souffrît aucun dommage. Cependant si malgré toutes mes précautions cela arrivoit par quelque cause que je n'ai pû prévoir, je serois d'avis de conserver la Tournevire sur laquelle le Cabestan agiroit, comme il devoit, selon mes idées, agir sur le cable ; & ce seroit-là le seul changement qu'il y auroit à faire à mon projet.

FIN.

DE

DE

ERGATÆ NAVALIS

PRÆSTABILIORE,

FACILIOREQUE USU,

DISSERTATIO.

Hæc Dissertatio una est ex quatuor quæ præmium duplex meruerunt.

Arte citæ, velóque rates, remóque reguntur. Ovid. Art. I.

Auctore JOANNE POLENO, Mathematico Professore Patavino, Regiæ Scient. Acad. Regiæque Soc. Londinensis Socio.



D E

ERGATÆ NAVALIS
PRÆSTABILIORE,
FACILIOREQUE USU,
DISSERTATIO.

Arte citæ, velóque rates, remóque reguntur. Ovid. Art. I.

I.

CUM magni momenti ea omnia Problemata sint, quæ ad perficiendam nauticam pertinent artem; tum verò ea, quorum enodatio non tantùm rei navali, sed etiam usibus aliis pluribus utilitatem afferre queunt, majoris quidem momenti reputanda esse videntur. Investigationes autem, quæ spectant ad Ergatæ usum meliorem efficiendum, jure optimo inter hæc momenti majoris Problemata numerari oportere, is unus non noverit, qui in omnium artificiorum ab Mechanica proficiscentium summa ignoratione versetur. Problema verò, ab Illustrissima Scientiarum Regia Academia anno superiore propositum, hujusmodi est: *Quænam sit Ergatæ structura potior atque aptior ad eos cunctos usus, quibus Ergata adhibetur in navi.* At usus Ergatæ non est generis ejusdem ac (exempli gratiâ) Gubernaculi usus,

cùm hoc duntaxat regendæ & gubernandæ navi, illa verò tum in navi, tum quovis in loco locata, ponderibus trahendis inservire apposité queat.

I I.

Et quamvis Academici, pro eximia sua perspicacitate atque doctrina, illud rectè admonuerint; quòd *in navi Ergata & simplex, & solida, & prompti expeditique usûs capax, &, ubi tractetur, expers impedimentorum omnium ac implicationum, & tuta à quocunque fortuito casu esse debeat; quippe quæ, dum adhibetur in navi, conditionis sit longè diversæ atque est dum adhibetur in terrestri loco, ubi neque commoda, neque tempus medendi pro lubitu eventibus inopinatis deesse profectò possunt:* nihilo tamen minùs, quis non videat, Ergatam simplicem, solidam, capacem prompti expeditique usûs, vel in terrestri loco persæpe futuram esse utiliorem? Et hoc quoque nomine commendationem profectò merentur Academici ob propositum præstans id Problema, cujus multiplex esse potest utilitas; quamobrem non una de causa juvat periclitari quid operâ meâ, qualicumque, in ipsum conferri queat. Id verò tentans, ideas rerum propositarum composui diligenter cum formis rerum illarum, quas mihi in Ergatæ usibus atque effectibus aliquando contingit observare. Atque ita cogitavi de eo artificio, quod in medium ponam, cùm propositi Problematis conditionibus satisfacere posse videatur. Id autem non tulit, ut ad analyticos calculos, qui doctis jam noti fuissent, adduceretur, contentum demonstrari expositionibus certis atque experimentis. At si ad ejusdem artificii descriptionem non accedam nisi postquam plura scripsero; neque ad rem, cujus gratiâ dissertatio hæc est exarata, aggrediar, nisi ubi ad articulum XXX. ventum sit; dabitur, ut spero, venia mihi id agenti, ut rei naturâ prius definitâ, expositâ, & illustratâ, deinde propositionem meam possem aptiùs suo in lumine collocare.

III.

Sed, ut de Problemate ipso dicamus, id non modò anno superiore, verùm etiam anno 1737. edito Programmate, fuerat enunciatum. Quandoquidem Regia Academia *à viris doctrinâ instructis, & rei nauticæ expertissimis, certior facta fuerat, in usu Ergatæ, funem, quo pondera elevanda sunt, aut trahenda, ita circum axem Ergatæ circumvolvi, ut quavis sua circumvolutione tantum descendat, quantum ejus fert crassitudo: sic fieri, ut post plures circumvolutiones ad imam axis Ergatæ partem funis perveniat: itaque tunc eum ad superiorem axis ejusdem partem, haud levi molimine, gravíque temporis, ac sæpe etiam laboris priùs impensi, jacturâ, esse revehendum: hinc verò rei nauticæ perniciosa incommoda pervenire*, quæ tum ejusdem rei peritis nota sunt, tum ipso in Programmate bene scitéque indicantur. Quibus incommodis remedium ut afferatur, propositum tunc ita fuit Problema: nimirum, *quænam Ergatæ aut alicujus aliûs machinæ æquivalentis potior sit constructio ad eos omnes usus, quibus applicanda sint in navi illiusmodi instrumenta; præsertim verò ad evitanda incommoda illa, de quibus suprà dictum est.*

IV.

Quæ cùm ita sint, ut in duobus articulis superioribus commemoratum est, facilè liquet, rei propositæ summam eò adduci, ut Ergata, vel æquivalens machina, formetur, simplex, solida, & capax prompti expeditíque usûs in navi, necnon expers impedimentorum omnium ac implicationum, præsertim verò immunis ab incommodis iis, quæ à descensu partium funis circumvoluti circum ipsius Ergatæ axem proficiscuntur. Itaque pro simplici & solidâ requisitâ machinâ inveniendum est ejusmodi artificium, quod spectantibus (utcunque fuerit de latente inventionis difficultate) facile atque obvium videri queat.

V.

Nunc, Problemate propoſito, cùm ad quæſitam conſtructionem aggrediendum ſit, placet antè definitiones nonnullas tradere, ut vel in opuſculo hoc appareat quid res illæ ſint, de quibus agitur.

V I.

Pons (*Pont*) eſt tabulatum, quo conſternuntur naves, & conteguntur: antiquitùs inventi fuere navium Pontes, ut in eis ſtare poſſent navium propugnatores. Hujuſmodi Pontes idem eſſe videntur, ac navium partes illæ, quæ (voce è græcis fontibus derivatâ) *cataſtromata* dicebantur; quibus inſtructæ naves vocabantur *conſtratæ*, carentibus verò iiſdem *apertæ* nuncupabantur. Si fingamus, navim eſſe tranſverſim plano ſectam, erunt (*Fig.* 1.) AA, BB, CC, DD, ſectiones trabium tranſverſarum (*baux des Ponts*) colligantium navis latera, & Pontes ſuſtinentium. Concipi autem poterit, Pontes, ſeu Tabulata, eſſe EF, GH, KS, TL. Poſtquam æneis tormentis inſtrui cœperunt naves, & magnitudine augeri, pluribus etiam Pontibus cavitates earundem diſtinctæ fuere.

Fig. 1.

V I I.

Fig. 2.

Ergata (*Cabeſtan*) $ABCD$ (*Fig.* 2.) eſt Machina tractoria, lignea, ferreis laminis plerumque cincta & munita, figuræ fere cylindraceæ, quæ ad perpendiculum ponti SP navis impoſita, vectibus in gyrum agitur, ut circumvolvatur circum ipſam funis ductarius, quo pondus aliquod vel trahitur, vel elevatur. Cùm navis conſtrata eſt pluribus pontibus, Ergatæ inferior pars $ECDF$ inter unum alterúmque pontem locata, Machinæ addit conſiſtentiæ vim; modúmque præſtat, ut duobus in locis, nimirum & ſupra pontem SP, & infra pontem eundem una Ergata verti queat: (eadem pars $ECDF$ locari poteſt inter pontem &

carinam.) Immo, si plures sint pontes, una Ergata quodammodo triplex, quod attinet ad usum, evadere potest; ut videre est in tribus (*Fig. 1.*) Ergatæ partibus *M, N, P.* *Fig. 1.*

VIII.

Ergatæ caput (*la tête du Cabestan*) est pars Ergatæ (*Fig. 2.*) *A G H B* suprema & paullo crassior. *Fig. 2.*

IX.

Vectes, qui à nonnullis etiam scytalæ, vel collopes, dicuntur (*Leviers*, vel *Barres du Cabestan*) sunt paxilli, Ergatæ applicati, qui hominum brachiis urgentur, atque ita Ergata in gyrum agitur. Ergatæ *A B C D* unus vectis est *R X.*

X.

Foramina (*Trous*) in quæ inseruntur vectes, in figura indicantur literis *e.*

XI.

Ergatæ caput Anglici artificii (*Tête à l'Angloise du Cabestan*) ita construitur, ut omnium vectium axes in eodem horizontali plano sint. *R, X* (*Fig. 3.*) sunt vectes; *c c* sunt Claviculi (*Chevilles*) quibus detinentur funes alligati ad vectium extremitates. *D D* sunt duplicati Funes (*Bricoles*) qui prehendi manibus possunt ad juvandum Ergatæ circumvolutionem. *F* est Foramen, in quod inseritur ferrum quadratum, extans in Ergatæ suprema parte, si Ergatæ caput seorsim ab Ergata sit constructum. *Fig. 3.*

XII.

Axis (*Essieu*) Ergatæ est truncus Machinæ, qui intercipitur inter infimam capitis Ergatæ partem *G H*, & pontem *S P.*

XIII.

Costæ (*Taquets*) in Ergata sunt asseres *K*, *K*, *K*, in crenas, quæ in axe secundùm ejus longitudinem excavantur, firmiter inserti: circum eos (si eis instructa sit Ergata) circumvolvitur funis dum Ergata in gyrum agitur. Plerumque in toto Ergatæ ambitu sex sunt; numquam verò plures, quàm octo. Infimæ eorundem partes stabiliuntur asserculis *a*, *a*.

XIV.

Pessuli (*Elinguets*) sunt duæ virgæ *n t*, *d s* ligneæ, solidæ, quæ extremitate unâ pertingunt usque ad axem Ergatæ. Altera verò extremitas earundem, ope teretis ferrei claviculi, laxè conjungitur cum retinaculo (*Taquet*) *P*. Adhibentur Pessuli ut impediatur Ergata, ne revolvatur in gyrum contrarium ei, secundùm quem & ipsa volvitur, & circum ipsam circumvolvitur funis.

XV.

Axiculus ferreus (*Pivot*) quo instruuntur pleræque Ergatæ, est infimus mucro *u*, qui faciliores reddit Ergatæ gyros. Scutula (*Ecuelle*) est lamina ferrea concava, super quam ferreus axiculus in gyrum vertitur.

XVI.

Fig. 4. Sucula (*Moulinet*) est ipsa quoque, ut Ergata, Machina tractorii generis. Formatur ligno cylindraceæ figuræ (*Fig.* 4.) *a A B b*, per cujus extremitates trajiciuntur vectes *c p*, *d e*, *f g*, *m n*, quibus Sucula ipsa versatur; atque ita circum eam obvolvitur ductarius funis, quo pondus aliquod vel trahitur, vel elevatur. Uno verbo, similis est Ergatæ, non ad perpendiculum, sed positione parallela ad finitorem constitutæ.

XVII

XVII.

Atque hæc quidem pertinebant ad rerum illarum, de quibus agere oportet, definitiones; nunc ipsum ad institutum pergamus. Et cùm tertio in articulo observaverimus, in Programmate proponi, *Ergatæ, aut alicujus aliùs Machinæ æquivalentis constructionem*, profectò intererit quænam ad usus propositos simplex Machina potior utiliòrque esse possit. Porró septem simplices Machinæ à plerisque hodie numerantur : Planum inclinatum (*le Plan incliné*), Cuneus (*le Coin*), Trochlea (*la Poulie*), Cochlea (*la Vis*), Libra (*la Balance*), Vectis (*le Levier*), Axis in Peritrochio (*le Vindas*).

XVIII.

At Planum inclinatum, & Cuneum si consideremus, intelligemus facilè, iis nos uti in re nostra minimè posse : quamobrem plura de iisdem hîc dicere, nihil attinet.

XIX.

Trochlea seorsim, ac (ut aiunt) per se, instituti nostri usui aptari non potest : licet, quando ponderi dimovendo vel impar Ergata, vel Ergatæ applicata vis debilior est, actio multiplicium Trochlearum cum Ergatæ actione conspirans (ut anchoræ vel alia pondera faciliùs trahantur) non funis (*Fig.* 5.) *A B C D*, ducti circum Trochleas *e*, *u*, *n*, *s*, *Fig.* 5. extremitas *A* si applicetur ad Ergatam, annulus autem *E* capsulæ, quæ etiam rechamus dici posse videtur, Trochlearum *s*, *u* solidè firmetur in navis ponte, ut nullo modo moveri queat; tum verò nectatur unco *F* alterius rechami funis trahendus, fiet quidem, ut versione Ergatæ, trahendus funis multò fortiùs trahatur : quod tamen artificium tam utile, quàm notum, sane potest reputari.

X X.

Quod ad Cochleam attinet, Machina hæc haudquaquam videtur præstare posse singularem usum ad eum finem, quo nostra refertur inquisitio. Cogitaveram quidem olim de specie quadam Ergatæ, pertingentis usque ad imam carinam, cujus Ergatæ dimidia superior pars (hoc est axis) esset octogona; inferior verò pars formam Cochleæ obtineret; instrueretúrque capite anglici artificii, habente foramen *F*
Fig. 3. (*Fig. 3.*) octogonâ figurâ suâ respondens axi; quod caput pro ascensu & descensu, dum axis circumageretur, mobile esset. Quâ structurâ fieri posset, ut axis ille, singulis Ergatæ circumvolutionibus, aliquantùm ascenderet; sicque aptè perficerenturcircum axem eundem plures (quàm circum consuetas Ergatas) gyri funis ductarii antequàm is ad imum, ubi circumvolvi ampliùs nequit, pertingeret. Sed molimen hoc bonâ quidem fruge, verùm spinâ etiam aliquâ esse refertum, facilè perspiciebam.

X X I.

Quamobrem de Cochlea id unum adjiciam, quòd ea ita possit aptari, ut (casu aliquo) secundariam quodammodo præstet, haud inutilem, opem; nimirùm modo hoc :
Fig. 6. Cochleæ cylindrus (*Fig. 6.*) *A B C* ita ponatur, ut jaceat supra supremum navis pontem, & huic eidem ponti solidissimè affigantur ansæ *E*, *F* Cochleæ conjugatæ *D* habentis helices cavas. Cylindri *A B C* caput *C* instructum sit vectibus *b g*, *d s*, qui per crenam, in ponte incisam, liberrimè circumvolvi queant. Iisdem vectibus cylindrus (non secùs atque vertitur sucula) vertetur in gyrum. Alteri verò cylindri extremitati *t n* adnexus validè sit validus ferreus uncus *q G*, in copulatione sua cum cylindri extremitate, volubilis; ut artificio aliquo (putà laminâ *n u* radente pontem) detineatur, ne agatur in gyrum dum circumvolvetur cylin-

drus: atque huic eidem unco funis *qae*, ad pondus trahendum destinatus, arctè sit connexus. Manifestum est, conversione cylindri futurum, ut, magna vi, funis, unà cum pondere funi conjuncto, trahatur. Sed hæc indicavisse sufficiet. Nunc de reliquis simplicibus Machinis dicamus.

XXII.

Quæ reliquæ Machinæ sunt tres; Libra, Vectis, & Axis in peritrochio. Libra refertur ad Vectem: Vectis autem, pro re nostra, est membrum veluti princeps, seu præstantissima pars tum Ergatæ, tum Suculæ: quibus in Machinis extat Vectis, agítque eodem prorsus modo, ac illo in Axe. At eum modum, quo Axi in peritrochio vectis aptatur, quo agit, quo vires moventes adauget, adeo cognoscunt docti omnes ad unum; ut, si vectis naturam usùmque Geometricâ ratione hîc velim explicare, videri hercle possim, uti explicationibus non necessariis in re nimis nota: quamobrem plura de vecte & de libra minimè congeram.

XXIII.

Itaque, cùm exhaustionum methodo usi quodammodo simus, ac, de septem simplicibus Machinis, sex ad præcipuum instituti nostri finem adhiberi non posse cognoverimus, restat duntaxat, ut de septimâ pertractemus; nempe de Axe in peritrochio: qui si ad perpendiculum ponatur, Ergata, si parallelus ad finitorem, Sucula nominari consuevit. Nunc itaque dispiciendum sedulò est, num rei nostræ Ergata, an verò Sucula, conducibilior esse videatur.

XXIV.

Si quis autem hoc loco antiqua monumenta, vel Priscorum usus ad rem hanc illustrandam definiendàmque facere posse, censeret; & sic quæreret: quænam olim erat Machi-

narum earundem constructio? utrum magis Ergatam, Suculámne adhiberent antiqui? respondebo, plura quidem superesse variarum rerum vetera monumenta; mihi tamen diligenter perquirenti non contigisse ullam uspiam Ergatæ vel Suculæ antiquæ imaginem reperire, ex qua de eorundem organorum antiqua genuina structura eruditior fierem. Tum dicam, ab iis, qui ΖΥΓΟΝ pro Ergata, ΟΝΟΝ pro Sucula, in Aristotelis Mechanica (*Art. 14.*) interpretantur, utramque Machinam ab Aristotele nominatam fuisse decerni. At ego cum doctissimo viro Henrico Monantholio Gallo facilè sentiam, qui (*in Commentariis ad Arist. Mechanicam*, edit. Parisiis 1599. pag. 119.) *quid*, ait, ζυγὸν *Ergata differat à Sucula*, ὄνον *Græci vocant*, *& scytalæ primum genus*, *parum video*, *nisi fulcris*, *aut crassitudine.* De quo Henrico cùm inciderit mentio, obiter animadvertam, eum jam seculo decimo sexto, primum demonstravisse (pag. 30. citati operis) ab unoquoque mobili viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi describi eodem tempore, quo latera separatis describerentur; hòcque Theorema (quod hísce temporibus, maxima cum utilitate in Mechanicis sæpissime adhibetur) observat idem Henricus, propositum fuisse à Proclo (*Comment. in primum Euclidis librum*, edit. 1590. pag. 61.) qui tamen illud Theorema Gemino refert acceptum. Sed, ut ad rem nostram revertamur, Ergatæ mentio in Vitruvii libris (lib. I. cap. 1. lib. X. cap. 4. 5. 16. 22.) reperitur; nulla tamen ejusdem descriptio in iisdem libris uspiam apparet. De Axe autem in peritrochio ita, ut quæ de forma hujus dicuntur, etiam de Suculæ forma haud dubiè intelligi queant, diligentiùs egit Pappus (in *Mathematicis Collectionibus* lib. VIII.) Sed tamen neque ex Pappo, neque ex antiquo ullo alio scriptore notum quidquam nobis fieri potest, quod ad quæstionem nostram ulla ratione pertineat.

XXV.

At, si antiquos Machinarum usus scrutando, cognoscere id non possumus, quod in quæstione versatur; hodierni usus pertinentes ad rem nostram planè sunt perspiciendi. Porrò nunc Suculam Nautici minoribus in navibus adhibent ut malos erigant, ut antennas attollant, ut sublevent mediocra pondera ad onerandas naves, vel ad exonerandas: vidi etiam aliquando Suculis, super proras navicularum aptatis, anchoras, quibus eadem naviculæ detinebantur, commodè tolli. Quæ cùm ita sint, facilè liquet, Suculam (per se, hoc est, nullis instrumentis adjutam) non adhiberi ad eos usus, qui vires ingentes requirant. Quod si de augendis Suculæ viribus ageretur, ego proponerem; ut ejus partes (*Fig.* 7.) *E F*, *y D* extra tympanum *A B*, longiores fierent; neque geminis tantùm (quemadmodum in Fig. 4. videre est) sed pluribus vectibus instruerentur: putà, extremitas (*Fig.* 7.) *y D* adornaretur vectibus octo *a p*, *u r*, *n x*, *m z*, *b g*, *d f*, *s e*, *t c*; idémque fieret altera in extremitate *E F*: atque ita plures vel pauciores, variis modis, pro re natâ, vectes Suculis imponerentur; quamobrem plures homines cùm ad eas vertendas possent applicari, earundem etiam adaugerentur vires. Id autem non propono eò, quòd non facilem rem existimem, sed quòd eam me uspiam vidisse non meminerim.

Fig. 7.
Fig. 4.
Fig. 7.

XXVI.

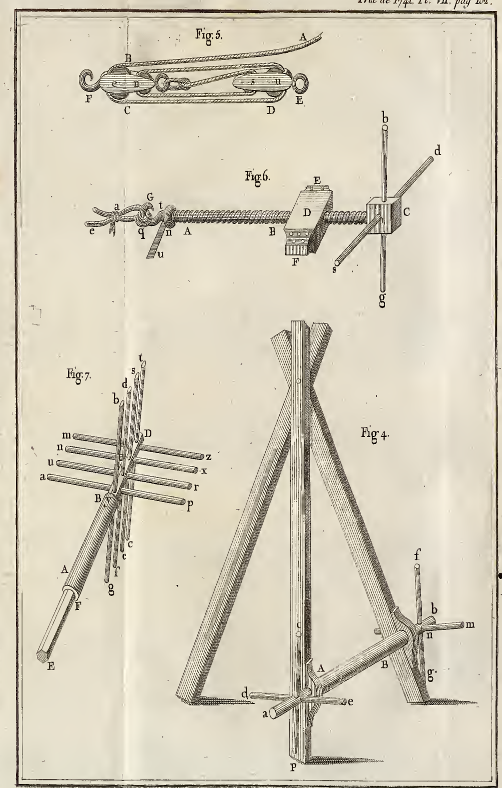
Ac de usibus quidem Suculæ satis diximus; reliquum modò est, ut de usibus Ergatæ dicamus. Quæ omnia præstare minoribus in navibus Suculæ possunt mediocribus viribus suis, eadem præstare possunt etiam Ergatæ: hæ verò, multò valentioribus viribus præditæ, insuper utilissimè adhibentur majoribus etiam in navibus ad eos usus, qui ingentes vires desiderant; nempe ad magnos erigendos malos, ad gra-

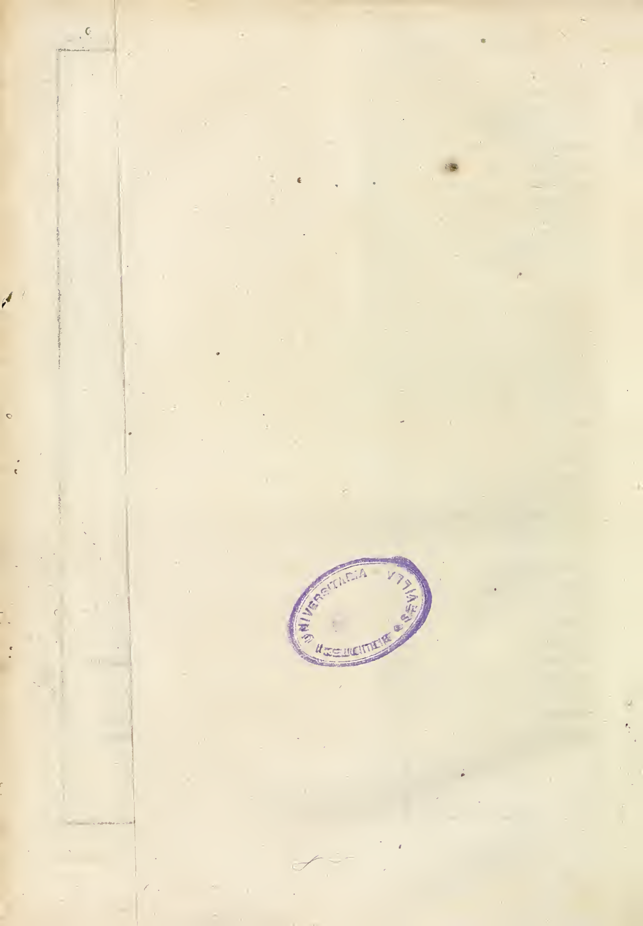
vissimas attollendas antennas, ad prægrandia pondera, in onerandis, vel exonerandis navibus, sublevanda, ad anchoras tollendas, ut ut anchoræ vel maximi ponderis sint; vel insertæ & intricatæ in saxorum cavitatibus, vel tenaciter ab valida argilla detentæ. Ergatis præterea naves trahuntur contra aquarum cursus, necnon adducuntur in sicca loca, vel inclinantur in latus, si resarciendæ sint, aut pice illiniendæ. Ex hodierno igitur usu ita statuendum esse videtur: Ergatæ in re navali, multò frequentiori præstantiorique usui sunt, quàm Suculæ.

XXVII.

Sed, præter usum hodiernum, videndum etiam est; cuínam ex duabus illis machinis homines reverà possint validiùs & utiliùs suam actionem motúmque suum applicare. Philippus *de la Hire*, quâ pollebat doctrinâ, primus fuit, qui (*Memoires de l'Acad. Roy.* Ann. 1699. edit. Paris. pag. 153.) genuinæ Mechanices lumen attulerit examini virium hominum, brutorúmque: deinde Jo. Theophilus Desaguliers (*A Course of Experimental Philosophy* Lect. IV.) & illa retulit (pag. 267.) à Philippo prolata, & quædam alia ingeniosè adjecit. Quæ cuncta cùm legissem, & essem cogitatione complexus, constitui, exemplum optimum sequi, & in experimentis rem cernere. Tres homines, satis robustos (ut visum est) paribúsque viribus præditos, & æqualis staturæ, selegi. Curavi, ut staterâ explorarentur numeri librarum, quas singuli penderent; tum tres illos inventos numeros in unam summam collegi; quæ in tres divisa partes numerum medium gravitatis (ex calculo) tribuendæ unicuique eorum hominum demonstravit; ísque fuit librarum 135. Homines illi (*Fig. 8.*) unus post alium, applicati fuere ad trahendum pondus P (hujusmodi pondera, additione & detractione variorum ponderum, rei perficiendæ accommodari, etiam me silente, notissimum est) ope funis $a\,c\,b$ impositæ super trochleam T, quatuor pedibus altiorem hominis capite. Quilibet eorum (cùm quilibet in efficiendo

Fig. 8.


Fig. 5.
A
B
e
n
s
u
F
C
D
E
Fig. 6.
b
d
E
D
C
G
t
a
e
q
n
A
B
u
F
s
g
Fig. 7.
t
s
d
b
D
m
n
z
u
x
a
r
B
V
p
c
e
f
g
A
F
E
Fig. 4.
f
b
m
n
B
g
A
d
e
a
P


UNIVERSITARIA

experimento fuit) trahendo manibus lignum *g e*, cui connexa erat extremitas *b* funis, corpus suum *A B* quodammodo suspensum extremitati illi ita detinuit, ut tantùm extremis pedum digitis pavimentum contingeret: nimirùm, corporis cujusque *AB* ea positio atque accommodatio fuit, quæ omnium aptissima est, ut homo tracturus Suculæ vectem, maximam, cujus capax sit, vim possit exercere. Atque noster casus fermè cum illo consentit, quem Philippus *de la Hire* (pag. 154. Art. V.) est persecutus: vìxque differt ab eo casu, quo, trochleâ gerente vicem bilancis brachiorum æqualium, homo pensilis æquilibrium efficeret cum pensili pondere *P*. Institutis autem pluribus experimentis, inveni, numerum medium exprimentem vires (cógnitas ex æquilibrio cum corpore *P*, pendente libras 130.) quas unus ex illis hominibus ita positus, ut est demonstratum, potuit exercere, fuisse 130. librarum. Deinde verò experimentum aliud institui. Tres illos homines, unus item post alium, applicati fuere ad urgendum Ergatæ vectem (*Fig. 9.*) *d q*, cui alligata erat inter duas hominis manus *m*, *n*, (stringentes vectem,) extremitas *z* funis *z u t*, ejusdémque funis alteri extremitati *t* appensum erat pondus *G*. Funis sustentabatur ab trochlea *M*, constituta in ea supra pavimentum altitudine, ut ejusdem pars *z u* esset ad horizontem parallela. Quilibet eorum (cùm quilibet in efficiendo experimento fuit) urgendo manibus vectem *d q*, corpus suum *D E* sic aptabat, ut & gravitatis corporis inclinati portione, & actione musculorum, vectem tantùm urgeret, quantùm maximè ab ipso fieri posset. Ex variis autem experimentis collegi, numerum medium exprimentem vires (indicatas ab æquilibrio cum pondere *G* prædito gravitate librarum 116.) quas unus ex illis hominibus, agens ita ut expositum est, potest exercere, fuisse librarum 116. Hîc autem animadvertam, in singulis experimentis eidem pavimento plano sed non lævigato, homines illos semper institisse: in hoc enim tentaminum genere qui veritatem diligenter inquirat, etiam pavimenti rationem habeat, necesse est.

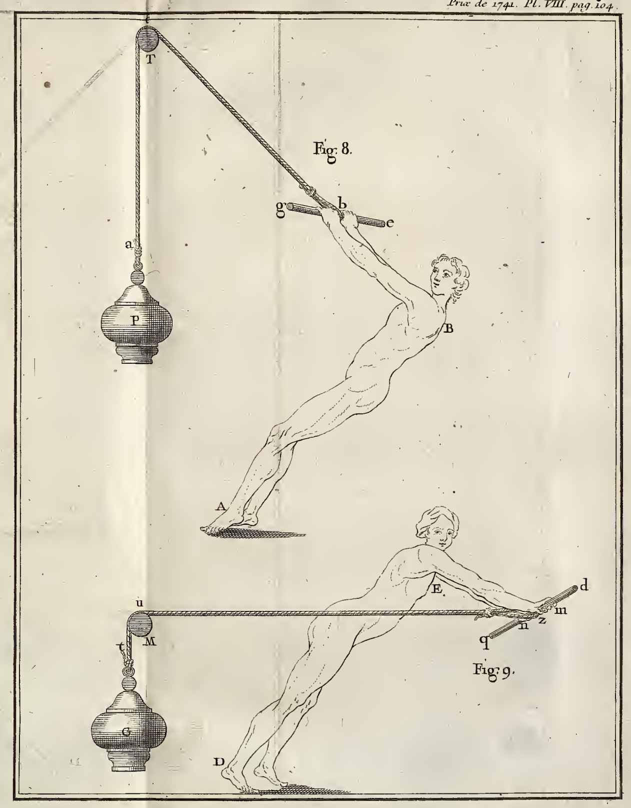
Fig. 9.

XXVIII.

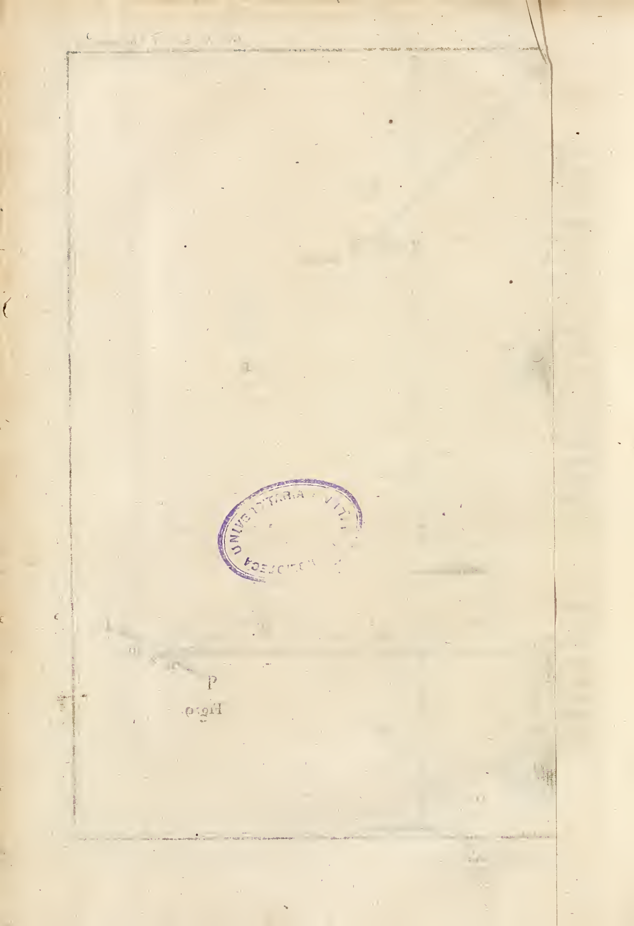
Quæ cùm ita ſint, & hominis, urgentis vectem Ergatæ, vis librarum 116. poſſit reputari; librarum autem 130. vis hominis vectem Suculæ trahentis: applicatio illius ad Ergatam aliquantillo debilior applicatione hujus ad Suculam eſſe videtur. Nihilo tamen minùs (cùm differentia illa exigua ſit) Ergatam quidem Suculæ præferemus, ſi reliqua, quæ ſunt attendenda, attendamus. Scilicet, ad ciendam Ergatam actio hominum continua atque conſtans magis eſt, quàm ad Suculam torquendam; hujus enim dum deſcendunt vectes, magis mutari debent hominum poſitiones, ipſorúmque vires trahentes imminui: tum verò ad illius vectes poſſunt homines accommodari aptiùs, quàm ad vectes hujus: prætereáque applicari appoſitè queunt, uno eodémque tempore, ad vertendam in gyrum Ergatam homines plures, quàm ad Suculam circumvolvendam: adde, præter partem gravitatis corporis hominis urgentis vectem, etiam ejus muſculos extenſores femoris, tibiæ & pedis, nec non alios, qui ad reliquos extendendos artus faciunt, mirè quidem juvare poſſe actionem impulſionis vectium Ergatæ, non ita verò Suculæ tractionem. Illos autem muſculos magnis viribus ab natura fuiſſe ditatos, jam olim Jo. Alphonſus Borellus in eximio Opere ſuo, *de Animalium Motu*, perſpicuè indicavit.

XXIX.

De quo præſtanti alioquin Opere, quando neceſſaria hîc incidit mentio, liceat ab propoſito tantillùm divertere; & de germana virium muſculorum æſtimatione pauca quædam proferre. Fui ego aliquando in eo, ut commemorati illius Operis res varias ordine novo componerem; & loco plurium propoſitionum à Borello traditarum, meliores quaſdam alias ſubſtituerem, quas ad emendandum augendúmque Borelli Opus, viri ſummi, Petrus Varignonius, Joannes Bernoullius,



T
Fig. 8.
g
b
e
a
P
B
A
u
E.
d
m
z
n
M
t
q
Fig. 9.
G
D



noullius, & alii, tradiderunt; nec non adhiberem observationes ac animadversiones, quibus Anatomici celeberrimi Jo. Benignus Winslovius, Jo. Bapt. Morgagnus, nonnullíque alii, eidem doctrinæ illustre subsidium attulêre. Hac autem in re cùm versarer, negotium mihi facessit ea quæstio de duplo incremento virium musculorum, quæ ex commemorati Operis capite decimo Part. I. profecta est. Borelli (lemma, seu) Propositio XXXI. est hujusmodi: *Si extremitas funis non ponderosi* (Fig. 10.) A B, *clavo* C *alligetur, & reliquum extremum ab pondere, vel ab aliqua potentia* R *trahatur, vis, quâ funis tractioni resistit, dupla est potentiæ trahentis.* Quod lemma, & alia quædam similia, Borellus ad integram (quam ibi quærebat) vim musculorum definiendam applicavit; tum verò constituit, integram illam musculorum vim esse duplo majorem eâ vi, quam paullo antè, pensitatis experimentis, mechanicísque principiis, ipse comparaverat. Itaque omni asseveratione affirmavit (Prop. XXXV.) musculi, exempli gratiâ, Bicipitis vim sexcentarum librarum esse reputandam; quam tamen ipse prius, attentis tum principiis mechanicis, tum experimentis (Prop. XXXIV.) trecentarum definiverat; & ita porro. Hujusmodi autem duplicationem virium musculorum reprobavit celeberrimus Richardus Meadius in præfatione sua præfixa alteri editioni *Myotomiæ Reformatæ* (Anglicè scriptæ) Guilielmi Cowperi; in qua præfatione musculorum motus mathematicâ ratione explicantur. In ea (pag. VIII.) Borelli argumenta pro virium duplicatione dilucidè Meadius exponit; quæ tamen Borelli argumenta Meadio merus lusus verborum esse videntur: *Nonne*, Meadius ait, attentâ Borelli Prop. XXXI. (quam nos paullo antè suprà retulimus) *ratione prorsus æquali, funem trahi, duntaxat à pondere* R, *dici posset; cùm, pondere* R *ablato, tractio quidem omnino cesset?* Multa addit; ac ad extremum ita concludit; *Qua ratione secundùm Borelli placita constituitur, funem ab uno pondere trahi æquè ac à duobus, eâdem planè ratione posset constitui, funem à duobus ponderibus non magis trahi, quàm ab uno:* paucis dicam, clarissimus Meadius

Fig. 10.

pernegat, duplicationem illam in virium musculorum æstimationem esse inducendam. Hujusmodi igitur est quæstio: cujus ab una parte doctos quosdam viros stare, quosdam alios ab altera, haud semel percepi. Hæc ni dissolvatur, necesse est implicata remaneat tricis, atque prorsus impedita motûs animalium doctrina. Ego quidem, si quis alius, plurimi facio quæ duo illi præstantissimi viri Borellus & Meadius litteris tradidêre; fas tamen sit quid sentiam proponere. Uterque eorum agentem potentiam, ceu applicatam ad funis extremitatem consideravit; id tamen ego (ita fari liceat) similitudinem veri non habere existimo; & plane reor difficultatem omnem tolli haud dubiè posse, si funis quidem *Fig. 11.* similitudo adhibeatur, sed modo hoc: nimirùm clavus (Fig. 11.) *C* repræsentet os illud immobile, cum quo (non secus ac conjungitur funis *A* cum clavo *C*) conjunctus est tendo, seu caput musculi: extremitas verò *B* funis referat alium tendinem, seu caudam musculi, quæ it se insertum in os à quo pondus (putà *R*) est sublevandum. Deinde pono, mediam funis partem constare ex duobus funiculis *sxu*, *azn*, qui ita, ut in schemate videre est, trahantur ab potentiis *D*, & *E*; tum verò concipio ab ea figura *sxu*, *nza* repræsentari (ut moris est) unam ex illis fibrarum cellulis, quæ ab fluido interno inflantur (& crescunt secundùm lineam *xz*, sed contrahuntur secundùm lineam *su*) inflantur, inquam, cùm musculus acturus est. Itaque, si funem consideremus, manifestum plane fit, ab illiusmodi contractione funem *AB* reddi breviorem, pondúsque *R* attolli à vi ad mediam funis partem, non ad infimam, applicata. Porro actio illa potentiarum *D* & *E*, si mente diligenter circumspiciatur, perspicuè apparebit, actionis ejusdem dimidium irritum reddi ab resistentia clavi *C* (sive immobilis ossis,) à reliqua autem vi pondus attolli (seu moveri mobile os.) Itaque reor, partem primam doctrinæ motûs animalium, hoc est, totius doctrinæ basim atque fundamentum, esse oportere Problema inserviens definiendæ ei quantitati vis, quæ, pro variis musculorum actionibus, ne-

cessaria est ad varias fibrarum eorundem inflationes progignendas. Quæ vis si tanquam agens potentia applicata (ope caudæ musculi) ad vectem consideretur, si os movendum pro vecte habeatur, si ossis & adjuncti ad illud sublevandi corporis gravitas ceu resistentia reputetur; sic demum facilè, adhibitis mechanicis principiis atque experimentis, inveniri poterit germana ratio inter potentiam agentem, & resistentiam. Ut concludam, si universali quadam ratione, quantitas illius vis, qua inflantur musculorum fibræ, ita ut paullo antè diximus, constituatur sub initium investigationis virium musculorum (non in progressu, quemadmodum à Borello factum fuit,) tunc quidem minimè opus erit de virium duplicatione cogitare; ac de eadem duplicatione quæstio, cæteroquin gravis & perdifficilis, sponte (ut ita dicam) suâ resolvetur, planéque evanescet. En igitur quæ de aptiore methodo æstimandi musculorum vires dicere habui, cùm de viribus iisdem pro re nostra jam inciderit mentio: sed ad eandem rem nostram revertor; & ut nonnulli loqui amant, redeo è diverticulo in viam.

XXX.

Faciendæ itaque, ut mea fert propositio, Ergatæ (secundùm apposita schemata) hanc descriptionem do. *A B* (Fig. 12.) est pons navis supremus; *C D* est pons alter sub illo, *E F* est Ergata, cujus inferior pars *G F* transit per convenientia foramina eorundem pontium. *n u e a* est pars infima axis *E G* Ergatæ, attingens pontem *A B*, in figuram perfectè cylindraceam formata: quam Ergatæ Basim, aut duntaxat Basim appellabimus. In hac est signata ambitu circuli *m t c* divisio, quâ Basis illa Ergatæ distinguitur in partes duas: harúmque superioris *n m c a* tanta est altitudo *n m*, seu *a c*, quanta est diameter maximi nautici funis, hoc est, maximi anchoralis: partis verò inferioris *m u*, seu *c e*, altitudo est altitudine superioris partis pauxillo major. *Fig. 12.*

XXXI.

In inferiore hac Basis parte incisi sunt duodecim solidi obliqui dentes, de quibus præstabit nonnulla indicare in schemate aliquanto majore; exhibente dentium sectionem
Fig. 13. transverso plano factam. (Fig. 13.) *ssiis* sunt incisi illi dentes. Ac *tu*, *ma* sunt validi pessuli, volubiles circum teretes robustos clavos *u*, *a*. Eorundem pessulorum resistentiis vim addunt retinacula veluti quædam *q*, & *p*; his enim illi fulciuntur. Sunt autem *nc*, atque *ex* elastra, quæ ibi ita ponuntur, ut cùm Ergata circumvolvitur secundùm litteras *ABC*, & pessuli se se eximunt ab interstitiis inter dentes *i* & *i*, *i* & *s* excavatis, tum ab elastris cogantur iidem pessuli sese inserere denuo in vacua interstitia dextrorsum proxima; quo artificio id planè efficitur, ut illi pessuli urgeant semper detineántque ab una parte dentes: nimirum ne fieri possit, ut Ergata in gyrum rapiatur secundùm litteras *CBA*; hoc est in gyrum contrarium ei, secundùm quem circumvolvitur nauticus funis.

XXXII.

Fig. 12. Totam illam Basim (Fig. 12.) *nuea* complectitur annu-
Fig. 14. lus (Fig. 14.) *FDEB*, cujus cavitatis diameter diametrum Basis vix excedit: nempe annuli cavitas tanta (nec hilo quidem major) esse debet, quanta sufficiat, ut intra ipsam, immobili permanente annulo, liberrimè circumvolvi queat Basis Ergatæ. Ejusdem tamen annuli figuram (distinctioris apparentiæ gratiâ) pinximus paullò majorem, quàm Basis
Fig. 12. (Fig. 12.) *nuea* magnitudini conveniret. Altitudo annuli
Fig. 14. maxima (Fig. 14.) *Au* eadem est ac altitudo *nu*, seu *ae*, Basis: latitudo *tr* pauxillum excedit diametrum maximi nau-
Fig. 12. tici funis, hoc est (Fig. 12.) altitudinem *nm*, seu *ac*. Verùm ut faciliùs atque clariùs intelligatur quæ propositi annuli figura sit, mente concipi velim, cylindrum rectum (Fig.
Fig. 15. 15.) *FDEB*, cujus axis sit *ae*. Tum percipiatur, eum cy-

lindrum interiùs ita esse excavatum, ut internæ cavitatis superficies *K G H R* eadem fit ac superficies aliûs recti cylindri habentis illum ipsum axem *a e*. Præterea verò concipiatur, in exteriore superficie cylindri notata esse duo puncta; alterum *t* in supremi circuli ambitu, alterum *s*, sub illo *t*, signatum ad eam distantiam *t s*, quæ æquet altitudinem (Fig. 12.) *n m*, seu *a c*, superioris partis Basis Ergatæ. Deinde comprehendatur (Fig. 15.) circùm eandem exteriorem cylindri superficiem ab puncto *t* in gyrum usque ad punctum *s* descriptam esse lineam spiralem *t n g m s*; ab cujus singulis punctis ductæ intelligantur ad axem *a e* rectæ lineæ, eidem axi perpendiculares; ac demum intelligatur, sublatam esse cunctam solidam partem supra lineas illas existentem: atque ita facile percipietur, remanere annulum (Fig. 14.) cujus suprema superficies *n g m* spiralis erit: ac à nobis deinceps ea superficies appellabitur annuli spira. *Fig. 12.* *Fig. 15.* *Fig. 14.*

XXXIII.

Hoc eodem in annulo observanda etiam est lata scissura, seu crena, *p q*. Hac formatur quidam (ut ita dicam) fornix, sub quo liberrimè moventur & illi Pessuli & Elastra illa, de quibus paullo suprà dictum est: scissuræ quatuor illiusmodi fieri possent. Ac demum videre est eâdem in figurâ quatuor veluti clavos *x*, *x*, *c*, *z* cylindraceos, quorum superiores partes sunt arctè infixæ (ad perpendiculum) in annulum, & cum eodem firmissimè cohærent; partes verò inferiores in quatuor foramina perforata superiore in Ponte (cùm opus est) ita inseri debent, ut annulus eidem Ponti adhærescat. Juvabit autem intervalla inter illos clavos esse prorsus æqualia, ut quater positio annuli mutari queat (si cavitates, destinatæ excipiendis pessulis & elastris, elaboratæ sint eo artificio, quod modò indicatas mutationes permittat.) Putà si extrahatur annulus, & denuò ità aptetur, ut in foramen illud, in quod priùs erat immissus clavus *z*, immittatur clavus *c*.

XXXIV.

Postrema Ergatæ nostræ explicanda pars est Annulus Parvus (Fig. 16.) *z x* , qui tornari eâ debet arte , ut ejus labra, *n m s t*, *c e*, cavitati proxima, promineant supra reliquas ejus partes. Plures istiusmodi annuli adhiberi queunt ad usum, de quo mox dicam. *V F* (Fig. 12.) est Ergatæ nostræ Axiculus ferreus cylindraceæ figuræ , qui in Ergatæ partem *V G* ita insertus, & cum ipsa externis ex eo nascentibus laminis ita ligatus esse debet , ut nulla possit tractione divelli. Inter pontem *C D* & clavum *R M* transfixum per Axiculum *V F*, duo annulli parvi *z x* , *s r*, Axiculo eidem impositi sunt, qui & pontem, & clavum , & sese invicem , contingunt duntaxat iis extremis labris , de quibus paullo suprà est commemoratum ; &, quod consequitur , in motu eorum frictiones (ut aiunt) exiguæ sunt. Addidimus autem ejusmodi annulos parvos *z x* , *s r*, & clavum *R M* , eâ de causâ , ut Ergata in gyrum versa , si ab aliqua alia vi traheretur sursum , vi illi sursum trahenti resistere posset , neque hilum attolleretur ; quod præsertim præstat clavus *R M*. Annuli verò parvi *z x*, *s r*, in re nostra id præsertim præstant utilitatis , ut ab conatu sursum versùm multò minùs lædatur motus in gyrum , quàm alioquin læderetur : nimirùm parvi illi annuli , adhæsionem clavi *R M* cum ponte *C D* impedientes , faciliter motum in gyrum obsecundant. Loco clavi *R M*, cochlea ambiens infimam Axiculi partem , vel aliud aliquod artificium , quod æque ac clavus proposito fini conduceret, adhiberi etiam posset.

Fig. 16.

Fig. 12.

XXXV.

Atque hactenus exposita hæc de nostræ Ergatæ partibus dicta sint : nunc de tota integráque ejusdem Ergatæ constitutione dicamus. Principio, quemadmodum suprà posuimus in duodecima Figura ad Articulum trigesimum perti-

nente, ita etiam hîc (Fig. 17.) AB eſt pons navis ſupremus; CD eſt pons alter ſub illo; EF eſt Ergata, cujus inferior pars tranſit per convenientia foramina pontium AB, CD. Super planum pontis AB conſtitutus eſt annulus TQH, & formatus & aptatus ipſi ponti AB eo modo, qui ſatis apparere poteſt ex Figura decima quarta, & ex articulis trigeſimo ſecundo, ac trigeſimo tertio; atque ita idem annulus complectitur contegítque noſtræ Ergatæ Baſim. In ſitu autem indicato ab littera L locati ſunt duo illi peſſuli, quorum ſtructuram in Figura decima tertia delineatam declarat Articulus trigeſimus primus: urgent illi ſemper, detinéntque ab una parte dentes Baſis Ergatæ. Iidem verò peſſuli ſub fornice ad inferiores annuli partes excavato jacent, eo artificio poſiti, quod demonſtratum jam fuit in decima quarta Figura ſpectante ad Articulum trigeſimum tertium. Hoc itaque modo, arte hac, ſingulæ novæ illæ partes collocatæ aptatæque eſſe debent: nihilo tamen ſeciùs neceſſarium minimè eſt, ut actio hominum vertentium Ergatam, vel Ergatæ uſus, novitate ullâ afficiantur. *Corpus trahendum* funi annexum eſt ad ejuſdem funis partem P: ad alteram verò funis partem K applicatur *Vis retrahens*; nimirùm vis quâ homines manibus partem illam K funis (dum circumvolvitur Ergata) detinent, ut funis intermedia portio $nmcbed$, quæ circumvoluta eſt circum Ergatæ axem, huic adhæreſcens, motu eodem, quo cietur axis, ipſa quoque cieatur. Ea verò intermedia funis portio quatuor contiguos gyros circum axem Ergatæ ita efficit, ut infimus gyrus ſemper ubique contingat annuli ſpiram $cmnu$. Hæc ſpira id, quod quærebatur, præſtat facilè atque perfectè. Nam illi iidem funis gyri ab motu ſuper acclivem ſpiram urgentur jugiter ſurſum, ſempérque versùs partes ſuperiores feruntur; attamen, quantum novi funis (ídque ſedulò notandum eſt) quantum, inquam, novi funis pro gyro infimo tangente annuli ſpiram $cmnu$, circumplicatur; tantum funis gyri ſuperioris deb evolvitur & explicatur; nimirum quantus eſt funis, qui inferiùs ſeſe circumvolvit circùm axem Ergatæ,

Fig. 17.

tantus est funis, qui superiùs liberat sese ab eodem axe: itaque fit, ut res semper uno eodémque constanti modo procedat. Neque res ampliùs in discrimen illud adducitur; ut identidem sit religandus funis, ac susceptus tractionis labor sit abrumpendus; neque enim res in periculo est, alioquin frequenter obveniente, cùm *funis post aliquot circumvolutiones ad imam partem axis Ergatæ perveniens necessariò ad superiorem axis ejusdem partem, haud levi molimine, graviique temporis, ac sæpe etiam laboris impensi jacturâ, revehi debet; neque amplius timenda incommoda inde rei nauticæ provenientia.* Porro hísce incommodis difficultatibúsque levare nauticam rem, finis ille est (quemadmodum in Articulo tertio suprà retulimus) cujus causâ utile quidem fuit id proposita investigatione versari. Propositum autem à nobis artificium eam speciem habet, quâ ab inconvenientibus illis immune & æquabile semper adeò appareat, ut in ejus usu perinde esse videatur sive duæ funis ulnæ circumvolvendæ sint circum Ergatam, sive ulnæ sexcentæ.

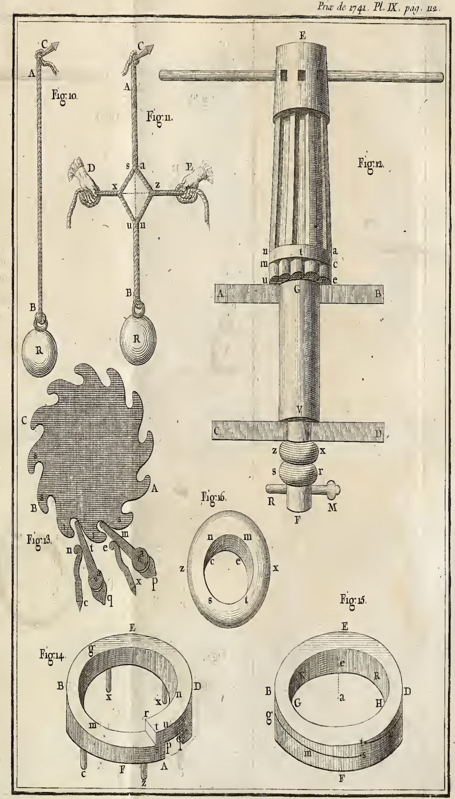
XXXVI.

Neque sane timendum est, ab ea funis super annuli spiram reptatione admodum difficiliorem reddi Ergatæ conversionem in gyrum. Animadvertatur, agi de motu super inclinatum spirale planum; atque ideo reptantis funis resistentiam respectivam (ut Mechanici aiunt) ad resistentiam absolutam in ea esse ratione, quam habet (Fig. 15.) exigua linea *t s* ad integrum ambitum circuli *t D E B t*. Quamobrem respectiva illa, quæ exercetur resistentia, nonnisi exigua esse potest.

Fig. 15.

XXXVII.

Non tamen (quamvis potuissem) soli Mechanicæ theoreticæ acquievi; placuit rem ipsam experientiâ tentare. Curavi fabrefieri Ergatam præditam iis partibus, quas paullo antè descripsi, & in figura decima septima conjunctim delineatas exhibui.


Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.

exhibui. Ergatæ hujúsce diameter Basis erat pollicum duorum, & linearum sex; partis verò inferioris (Fig. 18.) *G* diameter pollicem unum & lineas novem æquabat. Funiculum adhibui cannabinum, cujus diameter linearum duarum cum dimidia. Ad funis *NPV* (impositi super trochleam *S*) extremitatem *V* appendi pondus *A* librarum octuaginta, quod esset loco *Corporis trahendi*: & ad alterius partis *D K F* (impositæ super trochleam *H*) extremitatem *F* pondus *a* adnexui, librarum quinque, quod esset loco *Vis retrahentis*. Tum adhibito vecte *R X*, Ergatam in gyrum circumvolvi, & perspicuè observavi, motum funis æquabilem semper fuisse; & funem per Ergatæ axem neque ascendisse hilum, neque descendisse; sed post benè multos gyros fuisse eundem funem circùm Ergatam in eodem omnino circumvolutionum statu, in quo positus fuerat cùm Ergata cœperat circumvolvi. Ac pluribus institutis experimentis, res semper eâdem constanti ratione successit. Deinde verò capitibus *R*, & *X* vectis *R X* alligavi duos funiculos *b d e*, *z q u*, transeuntes super trochleas *n*, *m*, impositas sustentaculis, quæ in gyrum circumvolvi ita poterant, ut funiculorum partes *b d*, *z q*, semper perpendiculares ad vectem *R X* remanerent. Pendebant ab illis funiculis pondera *B*, & *C*, ejus momenti, ut vix eorum tractionibus converteretur in gyrum Ergata, attolleretúrque pondus *A*. Post hæc, ablato annulo *g x t*, ut Ergata ab hodierna solita sua constitutione & forma non differret, repetii id experimentum, in quo ab ponderibus appensis ad extremitates funiculorum *b d e*, *z q u*, circumvolvitur in gyrum Ergata, & inveni, pondera necessaria ad circumvolvendam solitam Ergatam, vix decimâ sextâ parte fuisse minora ponderibus necessariis ad circumvolvendam Ergatam nostram (cæteris Ergatæ partibus omnino immutatis) annulo instructam. Quæ cùm ita sint, satis vel ab experimentis liquere, opinor, ab spirali annulo tum id præstari, quod propositum fuerat, tum reddi paucissimis (ne dicam non computandis) partibus difficiliorem Ergatæ conversionem in gyrum.

Fig. 18.

XXXVIII.

At experimenta hæc ubi retuli, id animadvertam oportet; quòd non ſim neſcius, in arte & philoſophia experimentali cautè eſſe judicandum, ſi ab experimento rei parvæ de uſu ſimilis, ſed magnæ, rei conjectura capienda ſit. Nam contingit quidem aliquando, ut qui effectus in parvis machinis appoſitè egregiéque ſuccedunt, in prægrandibus ſimilibus machinis itidem ſuccedant, at contra etiam quædam aliquando fiunt minoribus machinis, quæ majoribus obtineri non poſſint. Quam rem vel priſcis temporibus, ab Vitruvio tam ſcitè conſideratam invenio, ut temperare mihi non poſſim, quin integrum ejus locum (deſumtum ex lib. X. cap. ult.) huc afferam. *Non omnia*, ille ait, *eiſdem rationibus agi poſſunt: ſed ſunt aliqua quæ exemplaribus non magnis, ſimiliter magna facta habent effectus: alia autem exemplaria non poſſunt habere, ſed per ſe conſtituuntur. Nonnulla verò ſunt, quæ in exemplaribus videntur veriſimilia, cùm autem creſcere cœperunt dilabuntur, ut etiam poſſumus hinc animum advertere. Terebratur terebrâ foramen ſemidigitale digitale, ſeſquidigitale: ſi eadem ratione voluerimus palmare facere, non habet explicationem: ſemipedale autem, majúsve, ne cogitandum quidem videtur omnino.* Utcumque autem de terebra ſit, ad terebram noſtrum haudquaquam pertinet experimentum. Pertinet profectò ad machinas illiuſmodi, quæ varias etſi obtinent magnitudines, ſimiles tamen ſemper progignunt effectus. Et hac non modò de cauſa, verùm etiam propter experientias nonnullas alias, quas in majoribus machinis feci, mihi videor, me poſſe planè aſſeverare, ratione conſtare & experimentis propoſitam à me Ergatam præſcripto uſui aptè poſſe reſpondere.

XXXIX.

Poſt hæc autem adjiciemus nonnulla, quaſi mantiſſæ loco,

quibus Dissertationis hujúsce finem faciemus. Et quidem primùm animadvertetur, quatuor illos funis gyros (Fig. 17.) *c m n b e d* satis omnino esse, ne grandis *Vis resistens* ad extremitatem *K* debeat applicari. Olim Guilielmus Amontonius, vir doctrinâ & rerum mechanicarum peritiâ clarissimus, fusè utilitérque egit (*Mém. de l'Acad. Royal. an.* 1699. *pag.* 206.) de ratione supputandi rigorem & resistentiam funium circumvolutorum circùm cylindros. At cùm ille experimentum proposuerit, in quo sursum & deorsum cylindrus ipse movetur, fuit è re nostra novum aliud tentare experimentum, in quo è loco suo cylindrus minimè dimoveretur. Machinam fieri curavi, quæ in apposito schemate (Fig. 19.) est adumbrata. Funis circumvolvebatur circùm cylindrum *A B*; cujus funis extremitas una *E F* imposita erat super trochleam *C*, altera verò *G H* super trochleam *D*. Modò funis uno gyro, modò duobus, modò tribus, & sic porrò, in variis experimentis circùm cylindrum *A B* circumvolvebatur. Trochlearum pedes *e t z*, *n s m*, per crenas excavatas in mensa, antrorsum & retrorsum trahi poterant & cochleis firmari prout variæ funis positiones requirebant. A funis extremitate *F* dependebat pondus *P* librarum octuaginta; extremitati autem *H* appendebatur variæ magnitudinis pondus *a*, hoc enim & majus & minus adhibebatur usque dum æquilibrium efficeret cum pondere *P*: nimirùm, usque dum vis adhæsionis funis ad cylindrum & pondus *a* conjunctim æquilibrium facerent cum uno pondere *P*. Quoniam verò pondera P & *a* nota sunt, inde etiam vis illa adhæsionis ad cylindrum nota fieri facilè potest. Vecte *K L* detinebatur cylindrus, ne verteretur in gyrum. Namque, si cylindrus tractionem funis possit obsecundare, alteriûs generis enascitur experimentum. Specimen duntaxat (neglectis, cùm specimen sit, unciis) paucorum tentaminum subjeci.

Fig. 17.

Fig. 19.

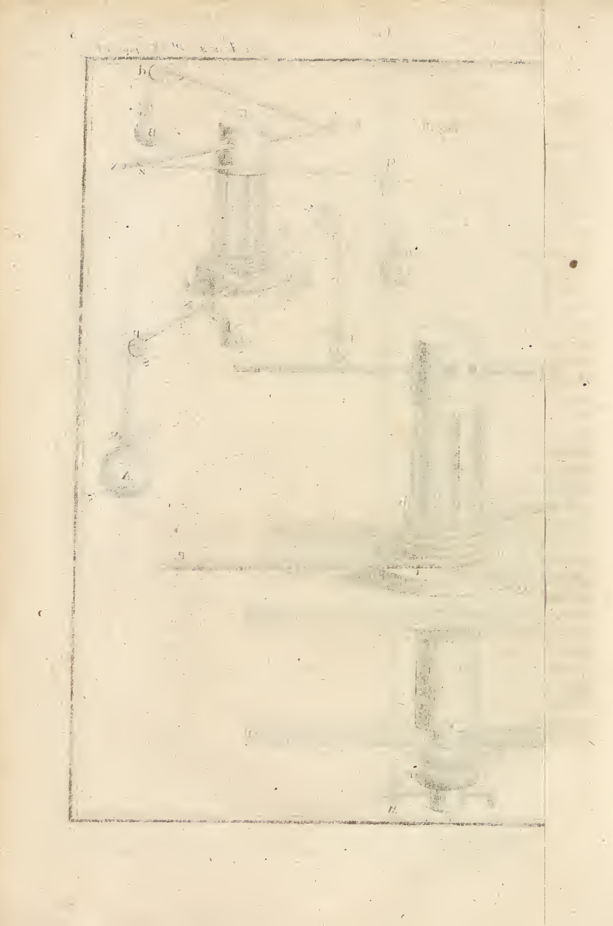
Diametri Cylindrorum. A Pollices.	B Lineæ.	Numeri Circumvolutionum Funium.	Pondus P Librarum.	Pondus *a* Librarum.
2.	5.	1.	80.	27.
2.	5.	2.	80.	14.
2.	5.	3.	80.	7.
2.	5.	4.	80.	4.
4.	10.	1.	80.	30.
4.	10.	2.	80.	17.
4.	10.	3.	80.	10.
4.	10.	4.	80.	5.

X L.

Nunc, ubi de variis cylindrorum craſſitiebus mentio facta eſt, re ipsâ admoneor quidpiam de proportione partium Ergatæ poſſe hîc ſubindicari. Quidam ſunt, qui Ergatæ menſuras ex ipſa navis ſpinâ (*la quille*) mutuentur. Ergatæ caput tam craſſum faciunt, quanta maxima ſpinæ craſſities eſt; axis imum parte quartâ imminuunt: coſtarum craſſitiem æquant quartæ parti diametri capitis: Ergatæ altitudinem pedum circiter quinque cum dimidio efficiunt. Alii alias rationes, ſed ab hîſce modò traditis parùm abludentes, perſequuntur. Porrò in re hac maximum pondus ab Ergatâ movendum (putà navis, cui conſtruenda Ergata deſtinatur, anchora maxima) debet attendi. Præſertim verò curandum ſedulò eſt, ne quidpiam committatur, quod vel impediat aptiſſimam applicationem Nauticorum ad vectes, vel Mechanicæ legibus (ex quibus totius Ergatæ ratio promanat) adverſetur. Noſtrâ in Ergatâ altitudo Nauticis commodiſſima ſeligi poteſt: pauci enim funis gyri eam non

Fig: 18.

Fig: 17.



requirunt altitudinem, quæ necessaria tunc esse videtur quando plurimos gyros usus efflagitat.

X L I.

Porrò si de faciliore Ergatæ usu quidpiam sit adjiciendum, commemorare oportebit, ab artificio illo, quo adhibito, funis gyri duntaxat quatuor effici debent, faciliorem etiam (præcipuis in partibus perficiendæ rei) Ergatæ usum præstari; quem tutiorem reddunt duplices pessuli constituti eo modo, cujus suprà data est (in Art. XXXI.) delineatio atque descriptio. Ab aliqua autem inæqualitate positionum vectium plus commodi, quàm incommodi proveniet Nauticis varii roboris, staturæque differentis; scilicet ut omnes maximum conatum æquabiliter exerere possint: ad quam exiguam inæqualitatem etiam Ergatæ caput anglici artificii facilè posset confirmari. Præterea verò faciliori circumvolutioni Ergatæ proderit, frictiones axis cum parietibus internis foraminum pontium navis (putà in situ, *Fig.* 2. *x z*, ubi Ergata *A D* immissa est in pontem *S P*) reddere tam exiles, quàm maximè fieri possit. Cogitaveram de annulo volubili aptando intra pontis foramen, quem in annulum Ergatæ axis immitteretur; & quamvis non unam difficultatem mente perspicerem, varia pro illiusmodi combinatione experimenta institui; at effectus diligenter observati (ad alium usum reservandi) haud esse inde sperandum pro re propositâ spectabile operæ prætium, ostenderunt. Multo enim adjumento opus esset: propterea quòd ligneorum axium frictiones ad foramina in trabibus perforata ingentes, & momenti profectò magni, sunt; ut mihi etiam tum semper suasit ratio, tum non una experientia perspicuè demonstravit. Quamobrem (ut paucis dicam) si, ubi Ergatæ intra foramina excipiuntur, ibi partes omnes & Ergatarum earundem & foraminum metallicæ sint, res feliciùs quidem succedet. Igitur neque de hísce plura addam, neque de satis obviis quibusdam aliis artificiis, quibus, vel mutatione *Fig.* 2.

positionis annuli Ergatæ (quâ de mutatione suprà in Art. XXXIII. dictum est) vel modo aliquo alio , funis , extre-
Fig. 17. mitate sua inferiore (*Fig. 17.*) *c P* , detineatur ita , ut spiræ parti depressiori ac infimæ *m c* eadem funis extremitas *c P* semper jugitérque respondeat , dum funis circum Ergatæ axem circumvolvetur.

X L I I.

Quod si vel propter nimiam resistentiam corporis trahendi , vel propter nauticorum hominum paucitatem , vis requireretur major illâ , quàm Ergata in eis rerum constitutionibus præstare posset ; tunc quidem valde juvaret , si navis instructa esset instrumentis iis , quibus in eis etiam rerum constitutionibus quæ necessaria essent , tentari possent : videlicet possent , subsidio alicujus aliûs Machinæ , Ergatæ vires augeri. Quapropter cùm viribus iisdem incrementa afferre queant & Trochleæ & Cochlea , iccirco quomodo incrementa illa hisce instrumentis sint procuranda jam (in Art. XVIII. & XXI.) suprà indicavimus. Huic etiam fini ut conducerent , inventæ fuêre duplices illæ Ergatæ , quarum ingeniosæ descriptiones extant in eo splendido opere , cui titulus est : *Machines approuvées par l'Académie Royale des Sciences* (Tom. II. pag. 3. & pag. 7.) utilitatem tamen usûs earundem nonnullis ab incommodis minui judicarunt ii (*Hist. de l'Acad. Royal. des Sci.* 1702. pag. 138.) qui de iisdem longè optimum judicium ferre poterant. At hoc loco petam , ut mihi liceat , pauca quædam ad inventa illa pertinentia adjicere : ac proponere num præstaret rem illam efficere modo aliquantillùm diverso. Ponamus (*Fig.*
Fig. 20. *20.*) *A B* esse navis Pontem ; *E n* esse Ergatæ nostræ superiorem axem , circum quem circumvolvitur ductarius funis ; *G V* esse Ergatæ partem inferiorem ; *s t* esse Ergatam aliam (intra Pontes) cum nostra conjugatam : placeret mihi , majorem rotam *m u* pertinere ad nostram , nimirùm ad majorem Ergatam ; rotam verò minorem *s z* (sive , ut nonnulli loquuntur , tympanum) esse partem Ergatæ con-

jugatæ, & hanc quoque conjugatam vectibus *e x* instrui, eâ meliore positione constitutis, quàm rota major, & spatium inter pontes patiantur: ut Nautici sive plures, sive pauciores, ad utramque possent applicari. Conducibile futurum crederem, si Ergata *s t* adjungi pro lubitu posset, & auferri. Ex hujusmodi autem constructione, plus utilitatis promanare posse existimarem: eam tamen indicavisse sufficiet.

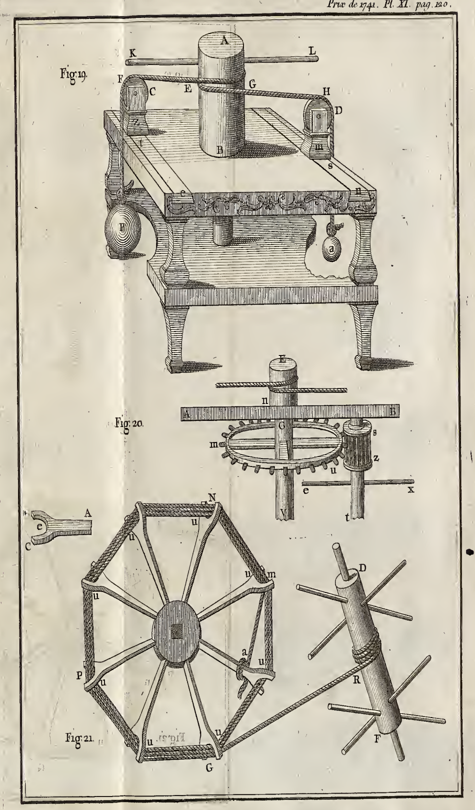
XLIII.

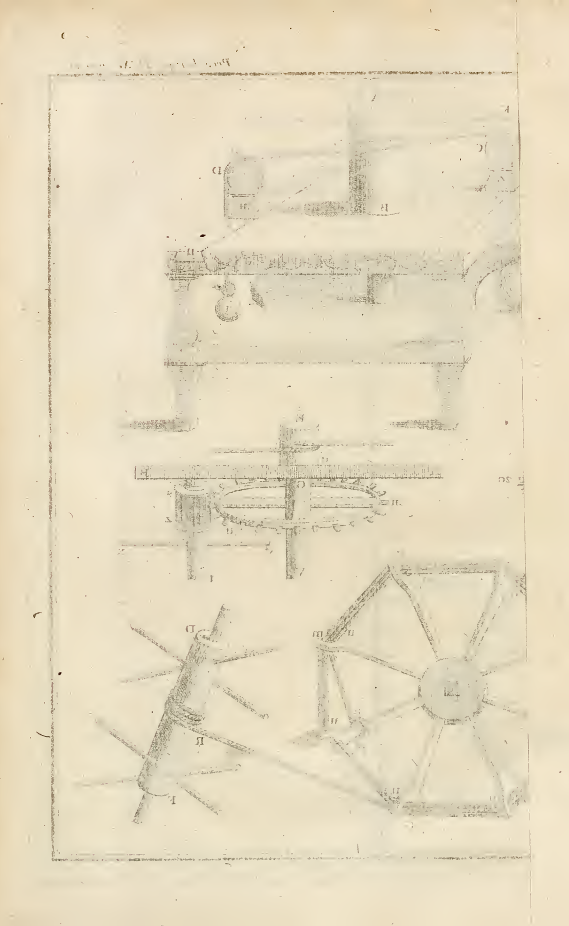
Sed postrema hac in parte aliud artificium, quod menti obversatur, in medio ponam. Velim construi Ergatæ caput anglici artificii, sed eo modo, ut singuli vectes (*Fig.* 21.) *u* desinant in figuram *A B e C*, scilicet ad extremum præditi sint cavitate *B e C*. Per eas singulorum cavitates velim circumduci funem *a m N P G R*, & hujus extremitatem *R* Suculæ *D F* adnecti; ipsam verò Suculam ad navis latus firmiter constitui. Conversione Suculæ, & funis circùm ipsam, trahetur in gyrum Ergata vi quidem majore; neque enim id artificium impediet quin plures homines vectibus ejusdem Ergatæ applicentur. Et hæc quidem Machina conducibili facilitate haudquaquam carere posse videtur. Facilitati profectò quacunque in re studui; præsertim verò annulo spirali adjecto Ergatæ, ut Machinam constituerem, quæ simplex, solida, & prompti expeditíque usûs capax esset, & quæ Mechanicâ ratione, ac experimentis (quemadmodum in Art. XXXVIII. dictum est) comprobata, præscripto ab Illustrissima Regia Academia usui aptè posset respondere. Saltem conatus sum, appositè satisfacere ei propositioni, quam mihi & natura ipsius rei, & certa cognitio eximiæ excellentísque perspicaciæ Proponentium, præstantem atque perutilem commonstrabant.

Fig 21.

FINIS.

RECHERCHE


Fig. 19.
A
K
L
F
C
E
G
H
D
Z
m
t
B
s
c
n
P
a
Fig. 20.
E
n
A
B
G
m
s
z
u
e
x
V
t
A
e
C
N
u
u
u
m
u
a
u
P
u
D
R
F
Fig. 21.
u
u
G



RECHERCHE
DE LA
MEILLEURE CONSTRUCTION
DU
CABESTAN.

Cette Piece eſt une des quatre entre leſquelles le Prix double a été partagé.

Un cordage roulé autour d'un double Eſſieu,
Peut être dévidé ſans fin au même lieu.

Par M. LUDOT, Ecuyer, Avocat en Parlement.



RECHERCHE
DE LA
MEILLEURE CONSTRUCTION
DU CABESTAN.

Un cordage roulé autour d'un double Eſſieu,
Peut être dévidé ſans fin au même lieu.

C'EST preſque témérité & perte de tems à un homme qui n'a jamais vû de vaiſſeaux ni leurs manœuvres, qui eſt loin des livres & des Gens experts en la marine, que d'oſer traiter d'une Machine néceſſaire à la navigation, & d'eſſayer de lui donner ſa derniere perfection. Car c'eſt grand hazard s'il parvient à être inſtruit de tout ce qu'il eſt important de ſçavoir pour y réuſſir; & ſi en voulant éviter quelques inconvéniens il ne tombe pas en d'autres qu'il lui eſt impoſſible de prévoir. Cette conſidération jointe à celle de mon peu de génie, & de la difficulté que j'éprouve à écrire ſur quoi que ce ſoit, auroit dû m'empêcher de le faire ſur la meilleure conſtruction du Cabeſtan; mais je n'en ai ſenti la force qu'après avoir entrepris ce travail. Quelques idées ſe ſont préſentées à moi ſous une apparence aſſez flatteuſe pour me le faire commencer. La complaiſance qu'ont les hommes dans leurs ouvrages, ſur-tout quand ils

les ont produits avec peine, m'a engagé à le continuer. Enfin, il m'a semblé qu'on avoit beaucoup d'indulgence pour les tentatives peu heureuses; peu de gens même entre ceux qui réussissent, risqueroient d'écrire s'ils ne comptoient sur elle.

Au reste, la situation où je me trouve m'ayant privé de la connoissance précise de plusieurs choses, j'espere que mes Juges m'excuseront d'avoir traité mon sujet d'une maniere un peu vague, & sans porter la construction du Cabestan jusqu'au dernier détail. J'ai crû qu'il valoit mieux donner à choisir en avançant des choses peut-être superflues, que d'en supprimer qui pussent être utiles; d'ailleurs si on adopte quelqu'une de mes vues, il sera aisé de suppléer à ce qui leur manque.

Pour abreger, & ne pas entrecouper les pratiques par les raisonnemens, j'ai jugé à propos d'exposer dans un préambule la Théorie dont j'aurai besoin.

Préambule contenant la Théorie qui sert de fondement à quelques propositions, & au calcul employé dans la suite.

Article Premier.

Fig. 1. §. I. Un corps quelconque dont la figure n'est pas propre à rouler, étant placé sur un plan *AC Fig.* 1. peu incliné à l'horison, y reste en repos: si l'on augmente l'élevation du plan, ce corps descend en glissant; mais plus lentement qu'un pendule ne décriroit un arc semblablement incliné.

Ces experiences font voir qu'un corps resiste à une force *EG* oblique à sa surface, suivant une ligne *RE* oblique jusqu'à un certain point à cette même surface. Or la force ainsi que la résistance oblique, peuvent chacune être décomposées en deux efforts ou réactions, l'une perpendiculaire & l'autre parallele aux surfaces contiguës. La réaction perpendiculaire *PE* du corps comprimé est toujours égale à l'effort perpendiculaire dérivé de la force du corps in-

combant, & eſt indifferente à la force parallele qui feroit gliſſer ce corps. La réaction parallele $R P$ détruit en tout ou en partie l'effet de la force parallele du corps incombant.

Il me ſemble difficile de déterminer le rapport de l'*action* ou *traction* ou *réaction* parallele $R P$, à la *force* ou *charge* ou *preſſion* perpendiculaire $E P$, parce que j'ai obſervé que ce rapport étoit fort variable, même à l'égard d'un corps certain. * Il eſt vrai que ſuivant une Obſervation de Monſieur Amontons vérifiée dans l'Académie ſur des plans rudes, & rapportée dans les Mémoires de l'année *1699*, ce rapport eſt conſtant dans l'état de Mouvement relatif des corps qui ſe compriment avec une force donnée; ſoit que les ſurfaces contiguës ſoient grandes ou petites, d'où il réſulte que ce rapport eſt auſſi conſtant *dans le même état de Mouvement* quelle que ſoit la compreſſion $E P$. Mais ce rapport varie dans d'autres circonſtances.

En premier lieu, il m'a ſemblé que la réaction $R P$ n'augmentoit pas à proportion de la preſſion perpendiculaire EP, lorſque les corps contigus étoient polis, & l'un d'eux peu flexible. Un fer de Blanchiſſeuſe un peu convexe deſcendoit en gliſſant plus ou moins vîte ſur une table ſeche de bois de noyer, ſuivant qu'il étoit plus ou moins chargé de plomb. La hauteur $A B$ du plan incliné étant environ un ſixiéme de la baſe $B C$, la plaque fort chargée deſcendoit environ une fois plus vîte que la même plaque non chargée. $A B$ étant un huitiéme de $B C$, la même plaque fort chargée deſcendoit, & non chargée s'arrêtoit.

En ſecond lieu, la durée du repos relatif & de la compreſſion réciproque de deux corps augmente la réaction parallele ou reſiſtance $R P$ du corps ſubjacent à l'ébranlement du corps incombant; ſurtout lorſque les corps ont été frottés d'huile, ou qu'ils ſont imparfaitement polis,

* Je n'ai point encore vû le Livre de M. Belidor, où il parle du frottement. Je n'ai qu'un ſouvenir confus de ce que j'ai lû ſur ce ſujet dans les Mémoires de l'Académie. Enfin, je n'ai jamais vû les Théorêmes de M. Amontons ſur la même matiere.

ou flexibles. La table de noyer étant imbibée d'huile, j'ai obſervé en l'élevant ſucceſſivement de plus en plus, que la réaction *RP* augmentoit depuis trois juſqu'à huit, dans l'eſpace d'environ un quart d'heure. La même table étant ſeche, & ſa hauteur *AB* étant à *BC*, environ comme 3 à 20, deux plaques de fer jointes enſemble & chargées de métaux, le tout peſant vingt livres, gliſſoient ſur cette table, & enlevoient un contrepoids d'une livre ; mais ayant été fixées quelques momens, & le contrepoids étant diminué peu à peu, & enfin totalement ſouſtrait, elles demeuroient en repos ſur la table, d'où je conclus que la réaction parallele croiſſoit environ depuis deux juſqu'à trois. J'ai remarqué pluſieurs fois que la differente durée du repos des vis de preſſoir dans l'écrou, faiſoit varier leur réſiſtance à l'ébranlement de la vis, tant en ſerrant qu'en deſſerrant. En particulier à la vendange de 1737, j'ai vû une vis dont le pas étoit fort grand, qui ayant été ſerrée par quatre hommes revenoit d'elle-même lorſqu'on l'avoit quittée ſubitement, demeuroit fixe lorſqu'on l'avoit retenue quelques inſtans; enfin après un ſejour de demie heure, exigeoit tout l'effort d'un homme pour être ébranlée en deſſerrant : obſervation repetée cinq ou ſix fois, dont j'infere que la differente durée du ſejour de cette vis dans l'écrou, faiſoit croître ſa réaction environ depuis deux juſqu'à trois.

Pour expliquer cette variation, j'eſtime qu'on peut dire que la réaction parallele *RP*, augmente à meſure que le contact des corps voiſins devient plus étendu, plus intime, plus général, & que le contact de certains corps ne devient pas tel tout à coup, mais que la durée ainſi que l'augmentation de la compreſſion lui ajoute quelques degrés : ce qu'une plus grande compreſſion opereroit plûtôt, une moindre l'opére lentement. Pour verifier ce raiſonnement, j'ai eſſayé ſi en diminuant peu à peu une grande compreſſion, une partie de la réaction *RP* que cette compreſſion avoit excitée ſubſiſteroit, laquelle fut plus grande que celle que la compreſſion reſtante pouvoit cauſer par elle-même ;

mais mon expérience n'a pas réuſſi, ſoit que la convexité des plaques dont je me ſervois, ne me permît pas de les décharger ſans les ébranler un peu, ſoit que le reſſort des corps contigus détruisît auſſi-tôt après la diminution de la compreſſion, l'effet de la plus grande.

Les faits que je viens de rapporter ne prouvent pas ſeulement que la réaction parallele eſt variable, mais encore qu'elle eſt moindre qu'on ne le croit communément. Voici d'autres expériences plus liées à mon ſujet que les précedentes, qui confirment l'un & l'autre chef. Un cordeau ſec, roide & déja uſé, étant dévidé & gliſſant lentement ſur un rouleau de bois de noyer, j'ai trouvé par la Methode expliquée cy-deſſous §. 4. que la réaction parallele étoit à la preſſion perpendiculaire, environ comme 1. à 8, 18. Le cordeau ayant été fixé quelque tems ſur le rouleau, la réaction parallele eſt devenue à la preſſion perpendiculaire, comme 1. à 5, 108. Le même cordeau ayant été dévidé autour d'un autre cylindre plus poli, & gliſſant deſſus lentement, la réaction parallele n'étoit à la preſſion perpendiculaire que comme 1. à 11, 8.

Enfin lorſqu'un corps gliſſe ſur un autre, la réaction parallele croît en même tems que la vîteſſe du mouvement: cela ſe prouve & par l'augmentation de la chaleur de celui des deux corps qui ſouffre un frottement continuel ſur la même partie; & encore plus préciſément par l'uniformité de la vîteſſe qu'acquiert le corps qui gliſſe ſur un plan incliné. Mais j'eſtime que l'accroiſſement de la réaction parallele n'eſt pas proportionnel à la vîteſſe du Mouvement. La raiſon de cette négative eſt que le contact ou bien l'engrenement réciproque des parties des corps qui gliſſent l'un ſur l'autre eſt moins parfait lorſque le mouvement eſt plus vîte: or ſi la réaction augmente d'un côté avec la vîteſſe, parce qu'il faut mettre en mouvement les parties inſenſibles d'une plus grande ſurface parcourue en même tems par le corps qui gliſſe; l'augmentation de la réaction eſt cependant en moindre raiſon que l'eſpace parcouru, parce qu'il faut

donner moins de mouvement aux parties insensibles de cet espace. Ainsi parce que les roues d'une voiture enfoncent moins dans un terrain mou quand elles roulent rapidement que quand elles vont lentement ; la resistance de ce terrain à l'avancement de la voiture ne reçoit pas des accroissemens proportionnels à la vîtesse du mouvement de la voiture. Si la connoissance plus distincte de cette variation de la réaction parallele étoit de quelque utilité , on pourroit en faire la recherche en comparant les differentes vîtesses uniformes qu'un corps acquerroit sur un plan differemment incliné.

Il suit des Observations ci-dessus que l'état du mouvement relatif lent des corps qui se compriment, est celui où la réaction parallele est la moindre qu'elle puisse être.

§. II. On reconnoîtra aisément que la résistance oblique *R E* est la plus opposée, & partant fait le moindre angle qu'il est possible avec la force simple ou composée qui tire un corps ; c'est pourquoi elle diminue autant qu'il est possible la résistance de l'obstacle qu'on lui joint pour arrêter le corps.

Fig. 2. Voici une consequence de ce principe. *E P p* est perpendiculaire au plan *A C Fig.* 2. si un corps situé sur ce plan & tiré par son poids ou par quelque puissance *E G* , est retenu par un obstacle dont la resistance dirigée dans le plan *P G E D*, suivant la droite quelconque *E D d*, ne soit excitée qu'autant qu'il faut pour empêcher le corps de ceder à la traction *E G*: la charge *E P* du plan *A C*, laquelle résulte des trois forces *E G*, *E D* , *RP* , est differente de celle *E p* qui résulteroit des deux seules *E G* , *E d* , (excepté lorsque *E D d* est parallele à *A C*,) laquelle *E p* est déterminée dans les traités de Méchanique , où l'on fait abstraction de l'obliquité de la résistance des corps. Soient par exemple *G E D R* , *G E dp* deux parallelogrammes, si l'angle *D E P* est aigu , *E P* est moindre que *E p*.

Fig. 3. Mais les mêmes conditions subsistant, *Fig.* 3. si le corps est encore tiré par une force *E F* perpendiculaire au plan *P G E D* , ensorte que l'effort composé des deux *E F*, *E G*, soit

soit EH, la résistance RE étant necessairement dans le plan $DEHR$, RP sera hors du plan $PGED$; c'est pourquoi la difference Pp des charges perpendiculaires EP, Ep sera moindre que dans le cas précédent, Pp diminuera à mesure qu'on augmentera EF, & enfin s'évanouira lorsque EF sera accrue à tel point que le plan REP soit perpendiculaire à $PGED$: alors EF sera égale à RP, & le rapport de RP à EG sera plus simple qu'il n'étoit dans le cas précédent.

Corollaire. Le triangle isoscele ACa, *Fig.* 4. est la section droite d'un canal, dans lequel est placé un corps rond poussé vers le fond du canal par la force EG, ou OG, dont la direction divise également l'angle ACa, & tiré en même tems par la force EF ou OF, parallele aux côtés du canal. Le corps ne peut être prêt à ceder à OF en glissant dans le canal suivant une perpendiculaire au plan $PACa$, que la charge EP de l'un des cotés du canal ne devienne égale à celle Ep, qui émane du *coin*, suivant les Auteurs de Méchanique qui font abstraction de l'obliquité de la résistance des corps. C'est pourquoi on a dans ce cas l'Analogie EP ou $OP. OG :: AC. Aa$. On a aussi $OF = 2\ RP$. Ainsi lorsque le rapport de RP à EP est connu, on peut aisément déterminer à quel point OF peut augmenter par rapport à OG, sans pouvoir faire couler le corps dans le canal. Les mêmes choses subsistent lorsque le canal étant mû suivant la direction HG, le corps est tiré par la force OF; le canal emportera le corps avec lui nonobstant cette force, si elle est moindre ou égale à la valeur que donnera la resolution des égalités qu'on vient de former. *Fig.* 4.

Il est évident que la route qu'un corps suit en glissant sur un autre, est avec la résistance oblique de celui-ci, dans un même plan perpendiculaire aux surfaces contiguës. Je dis en consequence, que si un corps est tiré, *Fig.* 5. par la force EH, soit simple, soit composée, qui fasse avec EP perpendiculaire au plan AC, l'angle HEP si petit qu'on voudra, moindre par exemple que l'angle REP, & en même tems par une force EL perpendiculaire au plan HEP si grande qu'on vou- *Fig.* 5.

dra; j'avance, dis-je, qu'il eſt impoſſible que ce corps prenne ſur le plan *AC* une route perpendiculaire au plan *HEP*; mais s'il eſt mû, il cedera en même tems à la traction *EL*, & à celle *EF*, qui dérive de *EH* ſuivant une parallele à *AC*; plus l'angle de la route avec *EF* ſera aigu, plus *EF* ſera grande relativement à *EL*, &c.

Fig. 6. §. III. Soit une corde *KEBAbek*, *Fig. 6.* tendue avec une force uniforme autour d'un cylindre dont *OF* eſt l'axe, & le cercle *DAdL* eſt la ſection. La force qui tend cette corde eſt à celle qui comprime un point *A* du cylindre, comme ſon rayon eſt à l'intervalle de deux points. Soient *AB*, *Ab* deux arcs égaux très-petits, & ſoit *BAbI* un parallelogramme. La force qui bande la corde ſuivant *AB* & *Ab* eſt à l'effort qui en réſulte ſuivant *AIO*, & qui comprime le point phyſique *A*, comme *AB* eſt à *AI*, & comme le rayon *BO* eſt à *AB*, à cauſe de la reſſemblance des triangles iſoſceles *ABI*, *BOA*.

Coroll. Donc la force qui tend la corde eſt à la ſomme des petites forces qui compriment tous les points couverts par la corde, comme le rayon eſt à la ſomme des intervalles des points touchés; c'eſt-à-dire, comme le rayon eſt à la quantité *DAd* de circonference, enveloppée par la corde.

Afin que la corde *KEBek* ſoit tendue uniformement dans tous ſes points, il ne ſuffit pas que ſes extrémités *KD*, *kd* ſoient bandées également par les efforts derivés de la puiſſance *OG*, qui ſituée dans le plan *DdL* tire le cylindre; car l'obliquité des actions réciproques du cylindre ſur le cordage, empêche que la tenſion des parties *KD*, *kd* ne ſe tranſmette toute entiere au point *A*. Par exemple, le cylindre n'agit pas ſur le point *E* de la corde ſuivant le rayon *OE* prolongé en *P*, mais ſuivant *ER* qui diviſe inégalement l'angle *BED*; c'eſt pourquoi ſi l'on fait ſur les trois directions *ER*, *EB*, *ED*, un parallelogramme, il ſera évident que la tenſion de la partie *DE* eſt plus grande que la tenſion de la partie *BE*, & ainſi des autres.

Mais la corde étant aſſujettie à demeurer dans le plan

$DAdL$, si outre la puissance OG appliquée au cylindre, on lui en applique une autre dirigée suivant OF, qui compose avec OG l'effort OH; OF se distribuant sur chaque point du cylindre, l'action ER sera hors du plan DAd, & prolongée passera plus près de l'axe OF qu'elle ne faisoit dans le cas précedent; c'est pourquoi la difference des forces qui tendent les parties EB, ED sera moindre qu'elle n'étoit dans ce cas. Cette difference diminuera à mesure qu'on augmentera OF, & s'évanouira enfin quand OF sera telle que le plan REP soit perpendiculaire au plan $DEAd$, ce qui arrive lorsque RE passe par l'axe. Alors OF est égale à la somme de toutes les actions RP paralleles à l'axe OF. Ainsi pourvû que le rapport de RP à EP soit donné, on peut déterminer combien OF peut croître relativement à OG, sans être capable de faire glisser le cylindre sur la corde $KEBek$.

§. IV. Soit une corde roulée autour d'un cylindre & tendue avec une force continuellement decroissante dans sa partie qui couvre le cylindre. Soit, par exemple, cette corde bandée de part & d'autre du point O, *Fig.* 7. avec les forces inégales Om, On, ensorte que l'effort moyen OH que ces forces composent, & avec lequel elles compriment le point O, soit incliné au rayon OC du cylindre. Soit $OM = ON$ moyenne Arithmétique entre Om, On; soit $MONG$ un parallelogramme; soit menée GH, & soit décomposé l'effort oblique OH en deux forces, l'une OG qui tend au centre du cylindre, & que je nomme force centrale, & l'autre GH ou OF; on reconnoîtra sans peine en premier lieu, que GH & OF sont perpendiculaires au rayon OC; en second lieu, que OF est égale à la différence des forces Om, On lorsque l'angle MON est très-obtus; enfin, que la force OM médiocre entre celles qui tendent la corde de part & d'autre du point O, est à la force centrale OG, comme le rayon OC du cylindre est à la parcelle OM de sa circonférence. C'est pourquoi si les points M, O, N sont si proches, que la force *Fig.* 7.

centrale ainſi que la différence des tenſions, ſoient incomparablement moindres que les tenſions, je dis ſimplement comme au §. précédent, que la force qui tend la corde, en quelque point qu'elle touche le cylindre, eſt à la force centrale exercée ſur ce point phyſique, comme le rayon eſt à l'intervalle de deux points.

Fig. 8. Le très-petit arc *SN*, *Fig. 8.* étant le premier que la corde couvre du côté qu'elle eſt plus bandée, ſoit donc le rayon *CS* pris pour l'expreſſion de la force ou poids qui bande la corde de ce côté; ſoit *SN* l'expreſſion de la force centrale ſur l'arc *SN*; ſoit enſuite *NP* retranchée de $CN = CS$, & ſoit *CP* la force qui bande la corde au lieu *NO*; ſoit *PL* un petit arc ſemblable & concentrique à *NO*, *PL* eſt la valeur de la force centrale ſur *NO*; ſoit *CI* la force qui bande la corde en *OM*, & ſoit *IK* ſemblable & concentrique à *OM*, *IK* eſt la valeur de la force centrale ſur *OM*, &c.

Je ſuppoſe maintenant que les petits triangles rectangles *SNP*, *PLI*, *IKR*, &c. ſont ſemblables, c'eſt-à-dire, que la différence ou diminution de tenſion de la corde eſt dans un rapport conſtant à la force centrale; la ligne *SPIR* eſt une ſpirale qui coupe tous ſes rayons *CS*, *CP*, *CI*, &c. à angles égaux, & une courbe à Logarithmes, telle que ſi les arcs *MO*, *ON*, *NS*, &c. ſont égaux, les tenſions *CS*, *CP*, *CI*, *CR*, &c. ſont en progreſſion géométrique.

De ces trois choſes, la quantité de circonférence chargée de corde ou bien de la révolution de la corde, le rapport des deux tenſions extrêmes, & le rapport de la différence ou diminution de tenſion à la force centrale, deux étant données on peut trouver la troiſiéme. Il y a des Méthodes ſçavantes pour cela, fondées ſur la rectification des courbes. Pour moi je me borne à celle-ci.

Je ſubſtitue à la ſpirale de la Figure 8. une Logarithmique ordinaire, *Fig. 9.* *SPZ* dont la baſe *CKTL*, ou ſa parallele *SNOM* ſoit égale à la circonférence du cylindre

Fig. 9.

répétée autant qu'il eſt néceſſaire, & dont la tangente TS faſſe avec l'ordonnée CS égale au rayon du cylindre, le triangle TCS ſemblable aux petits triangles SNP, PLI de la figure 8. enſorte que la ſoutangente CT ſoit au rayon CS du cylindre, comme la force centrale SN eſt à la diminution de tenſion. Or ſi on a deux Logarithmiques inégales SPZ, & spz, *Fig.* 10. & qu'on prenne dans l'une deux ordonnées CS, KZ, qui ſoient égales, ou qui ayent même rapport à deux ordonnées cs, kz de l'autre Logarithmique, on ſçait que l'intervalle CK des ordonnées CS, KZ, c'eſt-à-dire, la différence des Logarithmes de ces quantités eſt à la différence ck des autres Logarithmes de ces mêmes grandeurs, comme la ſoutangente CT de la premiere Logarithmique eſt à la ſoutangente ct de la ſeconde. Je ſuppoſe que cette ſeconde Logarithmique eſt celle à qui appartiennent les progreſſions contenues dans les tables vulgaires dont la ſoutangente ct eſt 0, 4342944. J'acheve d'expoſer la méthode en l'appliquant à un exemple. *Fig.* 10.

Un cordeau qui faiſoit une révolution & demie autour d'un cylindre poli, étant bandé à un bout par un poids de dix livres, & à l'autre bout par un contrepoids de quatre livres & demie, je l'ai aidé à ſe mettre en mouvement; après quoi, obéiſſant au poids, il a continué à gliſſer ſur le cylindre avec une vîteſſe uniforme en élevant le contrepoids. Je veux ſçavoir le rapport de la différence de tenſion à la force centrale. Je dis donc, comme $ck =$ 0, 3467875 différence des Logarithmes du poids & du contrepoids, eſt à la ſoutangente $ct =$, 4342944, ainſi la révolution & demie CK qui vaut 66, le rayon étant $= 7$, eſt à la ſoutangente $CT = \frac{66 \times 0,4342944}{0,3467875}$, & comme le rayon $CS = 7$ eſt à CT, ainſi la différence de tenſion $= 1,0000$ eſt à la force centrale $= \frac{66 \times 0,4342944}{7 \times 0,3467875} = 11,8077$.

Dans l'expérience que je viens de rapporter, la force tendante au centre du cylindre & sa pression perpendiculaire, sont la même chose. Or la différence de tension du cordeau n'est causée que par la réaction parallele au cordeau, laquelle dérive de la résistance oblique de chaque point du cylindre. La réaction parallele est donc à la pression perpendiculaire dans le rapport trouvé de 1, à 11, 8077, qui est celui que j'ai énoncé §. I.

J'ai dit ci-dessus que je supposois que la différence de tension des parties du cordage étoit à la force centrale dans un rapport constant: cette supposition est vraie, ou peu s'en faut, dans les cas de même genre que celui que je viens d'exposer, parce que la principale cause de la variation de ce rapport, sçavoir, la différente durée du repos relatif, n'y a pas lieu.

Pareillement, lorsqu'une corde bandée par des poids inégaux est arrêtée sur un cylindre fixe, quoique la réaction parallele de chaque point croisse avec la durée du séjour de la corde, cependant les réactions paralleles contemporaines des différens points du cylindre, sont à peu près dans la même raison aux pressions normales de ces points. C'est pourquoi on peut chercher cette raison pour le moment de l'observation par la méthode ci-dessus. C'est ainsi qu'en diminuant peu à peu le contrepoids suspendu au cordeau roulé sur un cylindre médiocrement poli, j'ai trouvé que la réaction parallele qui n'étoit d'abord à la pression normale ou force tendant au centre, que comme 1 à 8, 18 étoit devenue à cette force après certain séjour, comme 1 à 5, 108.

Mais lorsqu'on fait tourner le cylindre autour duquel est dévidée la corde tendue par des poids inégaux, ensorte qu'on éléve le plus grand, les réactions paralleles contemporaines des divers points du cylindre, sont aux pressions perpendiculaires de ces points dans un rapport différent, soit parce que la durée du repos relatif de la corde sur chaque point est différente, ce repos n'ayant pas commencé en

même tems, soit parce que la charge perpendiculaire de chaque point diminue insensiblement, ainsi que la tension de la corde; c'est pourquoi le calcul dont j'ai donné un exemple, ne convient pas en rigueur aux expériences où on éléve un fardeau avec une corde roulée sur un cylindre.

J'estime cependant qu'on peut le leur appliquer sans erreur considérable, en observant que le rapport de la différence de tension à la force centrale, ou de la réaction parallele à la pression perpendiculaire qui est supposé dans le calcul, ou découvert par le calcul, est seulement à peu près moyen entre le moindre & le plus grand des rapports réels.

La tension d'une corde qui se dévide sur un cylindre en élevant un poids diminuant peu à peu, son ressort la raccourcit subitement d'instant à autre, & de distance en distance, lui faisant prendre un petit mouvement assez sensible sur le cylindre. Ce mouvement empêche la réaction parallele de s'accroître autant qu'elle feroit si la corde demeuroit colée au cylindre dans toute son étendue depuis le point où elle s'enveloppe jusqu'à celui où elle se développe. La corde ne fait guéres que la moitié ou les trois quarts d'une révolution sans se raccourcir.

C'est pourquoi la médiocre réaction parallele ne surpasse pas beaucoup la moindre, sur-tout si l'on éléve le poids avec vîtesse, & si le cylindre est petit. J'ai observé sur ce cylindre dont la moindre réaction parallele étoit à la pression normale comme 1 à 8, 18, j'ai observé, dis-je, en le tournant pour élever un poids, que sa réaction médiocre étoit à peine à la pression perpendiculaire comme 1 à 7, 0626, & ne put jamais devenir à cette force comme 1 à 6, 05, avec quelque lenteur que je tournasse le cylindre; car quand j'en faisois la tentative en diminuant le contrepoids, la corde venant à se raccourcir subitement, après une demie révolution, se détachoit du cylindre dans toute son étendue, & le poids entraînoit le contrepoids trop affoibli.

Comme il feroit long & pénible de résoudre par la mé-

thode générale expoſée ci-deſſus, toutes les queſtions que j'ai inſinué qu'on pouvoit faire, je me ſers de deux moyens particuliers que cette méthode m'a fournis. J'exprime toujours la différence de tenſion de la corde par l'unité. En premier lieu j'ai ſuppoſé que la force centrale étoit exprimée par le même nombre que la quantité des révolutions de la corde, & j'ai cherché quel devoit être dans cette hypotheſe le rapport des tenſions extrêmes de la corde, j'ai trouvé que la différence de leurs Logarithmes étoit 2, 7298505, &c. la moindre tenſion étant ſuppoſée 1, dont le Logarithme eſt 0, la différence trouvée répond au nombre 536, 847, qui eſt la valeur de la plus grande tenſion.

Lorſque le rapport des tenſions extrêmes de la corde eſt différent de celui de 1,000 à 536,847, je fais cette analogie. Comme la différence des Logarithmes de $CS = 536$, 847 & de $LX = 1$, *Fig. 9.* (c'eſt-à-dire, comme 2, 7298505) eſt à la différence des Logarithmes des autres tenſions CS, KZ; ainſi une quantité CL de révolutions laquelle eſt exprimée par le même nombre que la force centrale, eſt à la quantité CK des révolutions que fait la corde bandée par les forces CS, KZ, ou par leurs proportionnelles. Par exemple, un cordeau qui faiſoit une révolution & demie autour d'un rouleau, étant bandé d'un côté par un poids de neuf livres & demie, & de l'autre par un contrepoids de deux livres & demie, adhéroit au rouleau, & obéiſſoit à ſon mouvement circulaire : je dis, comme 0, 5797836 différence des Logarithmes du poids & du contrepoids, eſt à la différence 2, 7298505, ainſi la quantité de révolution $CK = 1, 5$, eſt à la révolution $CL = 7, 0626$, & ce dernier nombre eſt la valeur de la force centrale dans l'expérience citée.

Fig. 9.

En ſecond lieu, j'ai ſuppoſé que le poids étoit centuple du contrepoids ou de la moindre tenſion, parce que j'ai crû que ce rapport avoit ſouvent lieu dans la pratique, & j'ai dreſſé les deux Tables ſuivantes, fondées ſur le principe

cipe, que la différence de tenſion étant fixée, la force centrale eſt comme la quantité de la révolution.

Forces centrales.	Révolutions.	Révolutions.	Forces centrales.
1, 00000000.	0, 73264085	1, 00000000.	1, 36492526
2, . . .	1, 46528170	2, . . .	2, 72985052
3, . . .	2, 19792255	3, . . .	4, 09477578
4, . . .	2, 93056340	4, . . .	5, 45970104
5, . . .	3, 66320425	5, . . .	6, 82462630
6, . . .	4, 39584510	6, . . .	8, 18955156
7, . . .	5, 12848595	7, . . .	9, 55447682
8, . . .	5, 86112680	8, . . .	10, 91940208
9, . . .	6, 59376765	9, . . .	12, 28432734
10, 00000000.	7, 32640850	10, 00000000.	13, 64925260

Voici un exemple qui fera connoître la maniere de ſe ſervir de ces Tables. On a trouvé, ou bien on ſuppoſe que la réaction parallele d'un cylindre étoit à la preſſion perpendiculaire dans certaines circonſtances, comme 1 à 11, 8. On veut ſçavoir combien il faudroit que la corde fît de révolutions afin que la moindre tenſion ne fût qu'un centiéme de la plus grande. Il faut prendre dans la premiere Table la quantité de révolution qui répond à chaque partie de la valeur de la preſſion normale ou force centrale, & en faire l'addition ainſi qu'il ſuit.

Pour 10, 0	Révolutions	7, 3264085
Pour 1, 0		, 73264085
Pour 0, 8		, 58611268
Pour 11, 8.	Révolutions	8, 64516203.

Si une corde bandée avec des forces inégales, eſt dévidée autour d'un priſme polygone d'un grand nombre de côtés, on peut conſidérer ce priſme comme un cylindre, & ſe ſervir des moyens que j'ai expliqués.

ARTICLE SECOND.

Un de mes amis ayant reconnu que la Théorie ſur le Treuil, contenue dans les Traités de Méchanique de M. Varignon, étoit inſuffiſante pour déterminer la charge des appuis de cette Machine, & pouvoit même induire en erreur, s'eſt appliqué à réparer cette négligence. Il y a réuſſi, & m'a inſtruit de ſa méthode, tant de vive voix que par ſes lettres. J'ai deſſein d'employer quelques-unes de ſes propoſitions; mais je ne ſçai ſi mes Juges trouveroient bon que je me contentaſſe de leur citer un Traité qu'ils ne connoiſſent pas encore, & qui ne ſera public que vers la fin de l'année. D'ailleurs tous ceux de qui j'eſpere que mon Mémoire ſera vû, n'auront peut-être pas le Livre de mon ami. C'eſt ce qui m'a déterminé à dreſſer l'abregé ſuivant.

EXPOSITION DE L'EQUILIBRE SUR LE TREUIL.

§. I. *Cas nouveau d'équilibre ſur le levier.*

Lemme I. Une puiſſance KP donnée de grandeur & de poſition faiſant équilibre avec deux puiſſances ou réſiſtances AQ, ZL, *Fig. 11.* ſoient leurs directions coupées à diſcrétion par une droite AKZ; ſoient menées ſur AQ, ZL, les perpendiculaires KM, KN; ſoit $Kz = AK$, & ſoit nz parallele à NZ;

Fig. 11.

On a par la Méchanique	$AQ . ZL :: KN . KM$
Or à cauſe des paralleles nz, NZ, on a	$KN . Kn :: ZK . zK = AK$
Soit pris AK pour ſinus total, on aura	$Kn . KM :: \textit{ſin.}\, LZK . \textit{ſin.}\, QAK$
Donc en multipliant par ordre	$AQ . ZL :: ZK \times \textit{ſin.}\, LZK . AK \times \textit{ſin.}\, QAK$
On prouvera de même que	$AQ . KP :: KZ \times \textit{ſin.}\, PKZ . AZ \times \textit{ſin.}\, QAZ$

Quelque autre ligne AXS qui coupe les directions des puiſſances, on aura toujours $AQ . ZL :: SX \times \textit{ſin.}\, LSX . AX \times \textit{ſin.}\, QAX$, &c.

Lemme II. Soient décompoſées les puiſſances AQ, KP, ZL, chacune en deux efforts, l'un perpendiculaire & l'autre parallele à AKZ, les efforts perpendiculaires AB,

KY, ZG font entre eux comme les trois diftances KZ, AZ, AK, & partant déterminés. A l'égard des efforts paralleles BQ, GL, YP, ce qu'ils ont de déterminé, c'eft que la fomme ou la différence des deux premiers doit être égale au troifiéme; au refte ils font arbitraires. C'eft pourquoi fi on ajoute à BQ (ou fi on en retranche) un effort quelconque Qq, & fi on ajoute à GL un effort Ll égal & contraire à Qq, la couple de réfiftances, Aq compofée de AB & Bq, & Zl compofée de ZG, Gl, pourra être fubftituée à la couple AQ, ZL pour faire équilibre avec KP.

Corollaire 1. De l'un ou l'autre lemme on peut inférer que la réfiftance AQ eft à la quelconque Aq qu'on peut lui fubftituer réciproquement, comme les finus des angles que leurs directions font avec AKZ. $AQ . Aq :: \mathit{fin.}\, qAZ . \mathit{fin.}\, QAZ$, & de même $ZL . Zl :: \mathit{fin.}\, lZA\ \mathit{fin.}\, LZA$; car $AQ . KP :: KZ \times \mathit{fin.}\, PKZ . AZ \times \mathit{fin.}\, QAZ$, & $KP . Aq :: AZ \times \mathit{fin.}\, qAZ . KZ \times \mathit{fin.}\, PKZ$, donc, &c. *Fig. 12.*

Corollaire 2. Soit une couple de réfiftances Aq, Zl dont l'une paffe par le point donné A, capables d'être fubftituées à la couple AQ, ZL pour faire équilibre avec la donnée KP; je dis qu'on a $zL . zl :: zA \times \mathit{fin.}\, lzA . ZA \times \mathit{fin.}\, LZA$.

Corollaire 3. L'effort perpendiculaire à AZ dérivé de ZL eft à l'effort auffi perpendiculaire à AZ dérivé de zl, réciproquement comme les diftances du point fixe au point variable; $ZG . zg :: Az . AZ$.

Corollaire 4. Soit variable le point auquel la puiffance donnée & parallele à elle-même KP ou kp, *Fig. 13.* rencontre AZ, & foient conftans les points aufquels cette ligne eft coupée par les réfiftances qui font équilibre avec KP; la réfiftance AQ correfpondante à KP, eft à Aq correfpondante à kP, comme le produit $KZ \times \mathit{fin.}\, qAZ$ eft au produit $kZ \times \mathit{fin.}\, QAZ$, & pareillement $ZL . Zl :: AK \times \mathit{fin.}\, lZA . Ak \times \mathit{fin.}\, LZA$. *Fig. 13.*

Corollaire 5. L'effort perpendiculaire à AZ dérivé de *Fig. 13.* AQ, *Fig. 13.* est à son semblable dérivé de Aq en raison directe des distances variables de Z à K & k ; $AB . Ab :: ZK . Zk$, & pareillement $ZG . Zg :: AK . Ak$.

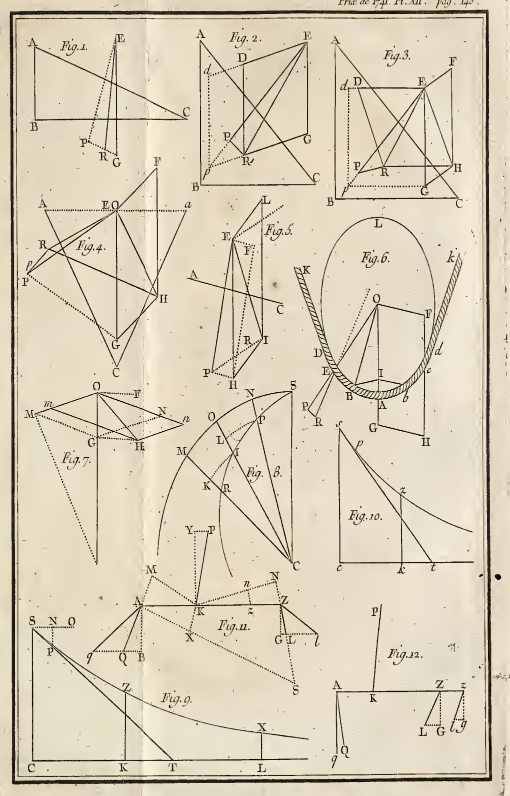
Corollaire 6. Enfin, si plusieurs puissances ont entre elles les rapports marqués dans les Lemmes & les Corollaires précédens, on en conclura *è converso* qu'elles sont en équilibre, ou qu'elles peuvent être substituées l'une à l'autre, &c.

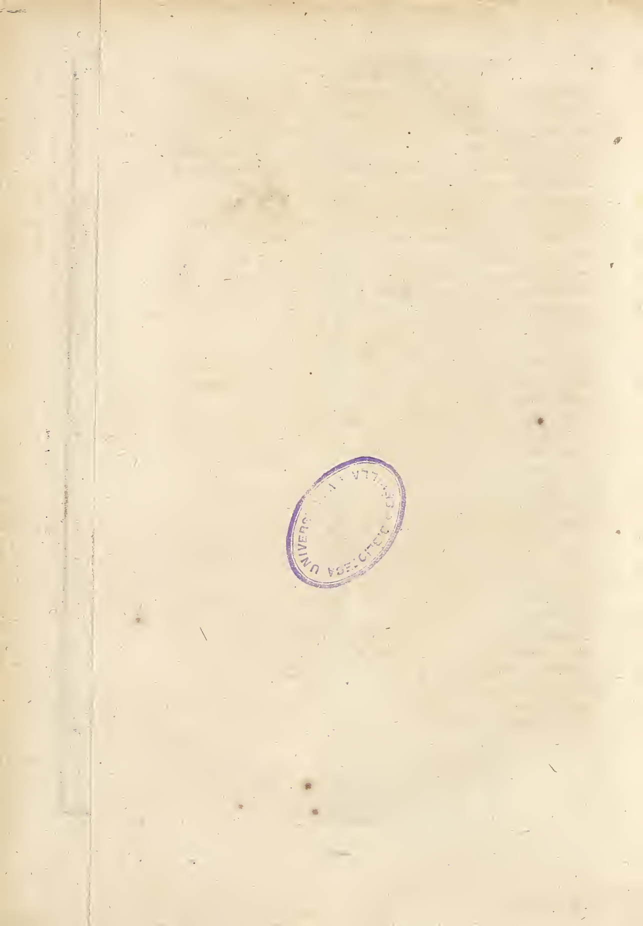
THEOREME I.

La puissance KP & la puissance OF appliquées au levier *Fig. 14.* $AKOZ$, *Fig. 14.* n'étant ni paralleles ni convergentes à un même point ; on ne peut les mettre en équilibre avec une seule résistance, quelque situation qu'elle eût, ce qui est évident ; mais on peut les y mettre avec deux AR, ZM, dont les points d'application au levier $AKOZ$ sont arbitraires. Car la puissance KP peut faire équilibre avec deux résistances AQ, ZL situées dans le plan APZ : pareillement OF peut faire équilibre avec deux autres résistances AT, ZN situées dans le plan AFZ. Or on peut substituer aux deux AQ, AT, une seule AR, & pareillement aux deux ZL, ZN une seule ZM. On se souviendra que zl peut être substituée à ZL pour faire équilibre avec KP, & que zn peut tenir lieu de ZN pour faire équilibre avec OF.

THEOREME II.

Le point A auquel la résistance AR est appliquée au levier $AKOZ$ étant donné, la seconde résistance indéterminée ZM ou zm est avec le levier dans un plan déterminé $AZMm$ à quelque point Z ou z qu'elle le rencontre, & quelque angle qu'elle fasse avec lui. Quelles que soient les deux résistances ZL, ZN qui composent ZM, ou zl, zn qui composent zm, l'effort ZG dérivé de ZL suivant une perpendiculaire à AZ est à l'effort zg aussi perpendiculaire


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.



à AZ dérivé de zl, comme la diſtance Az eſt à AZ; & comme ces diſtances ſont entre elles, ainſi l'effort perpendiculaire ZI dérivé de ZN, eſt à l'effort perpendiculaire zi dérivé de zn; donc ZG, ZI :: zg, zi, donc les parallelogrammes $GHIZ$, $ghiz$ ſont ſemblables, donc l'effort perpendiculaire ZH compoſé des deux ZG, ZI, fait avec l'un & l'autre des plans $APZGLI$, $AFZINn$, des angles reſpectivement égaux à ceux que fait avec chacun de ces plans l'effort perpendiculaire zh réſultant de zg, zi, & partant ZH, zh ſont dans un même plan avec AZz. Or les efforts paralleles à AZz qui étant joints à l'effort ZH ou zh perpendiculaire à AZz compoſent la réſiſtance ZM ou zm, ſont auſſi dans le plan $AZHMm$, donc &c.

Corollaire. La réſiſtance ZM eſt à celle zm, qu'on peut lui ſubſtituer pour ſervir à l'équilibre avec OF, KP, lui eſt, dis-je, comme le produit $Az \times \textit{ſin.}\ mzA$ eſt au produit $AZ \times \textit{ſin.}\ AZM$.

Le point Z étant choiſi, on prouvera de même que toutes les réſiſtances AR, ar qui, ſubſtituées l'une à l'autre, peuvent contribuer à l'équilibre de KP & OF, ſont dans un même plan déterminé $ZARr$.

Avertiſſement. Dans la ſuite, les directions des forces ſituées dans le plan APZ qui feroient équilibre avec KP, ſeront, ainſi que ces forces, nommées en général Aq, Zl, & en particulier AQ, ZL quand elles ſeront ſuppoſées paralleles à KP: pareillement les directions & les forces ſituées dans le plan AFZ qui feroient équilibre avec oF, ſeront en général nommées At, Zn; & en particulier AT, ZN, quand elles ſeront paralleles à OF: Ar, Zm ſeront les noms généraux des deux réſiſtances qui ſont équilibre avec KP & OF; AR eſt le nom ſpécial de la réſiſtance compoſée de AQ & AT; ZM eſt celui de la réſiſtance compoſée de ZL, & ZN.

THEOREME III.

Fig. 15. Soit, *Fig. 15.* $K\varphi$ parallele à OF, & ſoient $K\rho$, $K\mu$ les interſections des plans $ZARr$, $AZMm$ par le plan $PK\varphi$. Je dis que dans l'état d'équilibre des puiſſances KP, OF, la puiſſance KP eſt à celle OF, 1°. comme le produit $OZ \times \text{ſin.}\ \varphi K\rho$ eſt au produit $KZ \times \text{ſin.}\ PK\rho$, car

$KP . AQ :: AZ \quad KZ$
$AQ . AT :: \text{ſin.}\ TAR = \varphi K\rho . \text{ſin.}\ QAR = PK\rho$
$AT . OF :: OZ . AZ$ donc en multipliant par ordre, &c. 2°. $KP . OF :: AO \times \text{ſin.}\ \varphi K\mu . AK \times \text{ſin.}\ PK\mu$
$KP . ZL :: AZ . AK$
$ZL . ZN :: \text{ſin.}\ NZM = \varphi K\mu . \text{ſin.}\ LZM = PK\mu$
$ZN . OF :: AO . AZ$ donc en multipliant, &c.

Corollaire. Du premier rapport de KP à OF, on déduit celui-ci, qui fait connoître la ſituation du plan $ZARr\rho$; $\text{ſin.}\ PK\rho . \text{ſin.}\ \varphi K\rho :: OF \times OZ . KP \times KZ$. Et du ſecond rapport de KP à OF, naît cet autre qui donne la ſituation du plan $AZMm\mu$; $\text{ſin.}\ PK\mu . \text{ſin.}\ \varphi K\mu :: OF \times AO . KP \times AK$.

THEOREME IV.

Dans l'état d'équilibre des quatre puiſſances Ar, KP, OF, Zm,

1°. $KP . Ar :: AZ \times \text{ſin.}\ tAr . KZ \times \text{ſin.}\ tAQ$; car $KP . AQ :: AZ . KZ$
or $AQ . Ar :: \text{ſin.}\ tAr . \text{ſin.}\ tAQ$

2°. $KP . Zm :: AZ \times \text{ſin.}\ nZm . AK \times \text{ſin.}\ nZL$; car $KP . ZL :: AZ . AK$
or $ZL . Zm :: \text{ſin.}\ nZm . \text{ſin.}\ nZL$

3°. $OF . Ar :: AZ \times \text{ſin.}\ qAr . OZ \times \text{ſin.}\ qAT$; car $OF \quad AT :: AZ . OZ$
& $AT . Ar :: \text{ſin.}\ qAr . \text{ſin.}\ qAT$

4°. $OF . Zm :: AZ \times \text{ſin.}\ lZm . AO \times \text{ſin.}\ lZN$; car $OF . ZN :: AZ . AO$
& $ZN . Zm :: \text{ſin.}\ lZm . \text{ſin.}\ lZN$

Scholie. On peut encore trouver une ſeconde expreſſion du rapport de KP à Ar, qui ſera compoſée des parties OK, AO du levier & des ſinus des angles de AQ & Ar avec

la section du plan $tArQ$ par le plan $AZMm$: il y a pareillement une seconde valeur du rapport de KP à Zm, composée des parties OK, OZ du levier & des sinus des angles de ZL & Zm avec la section du plan $nZmL$ par le plan $ZARr$. Il y a aussi une seconde valeur de chacun des rapports de OF à Ar & Zm. Enfin il y a une double expression du rapport de Ar à Zm. Toutes ces valeurs sont aisées à trouver si on tire les lignes, & si on fait les décompositions nécessaires ; mais cela passeroit les bornes d'un abregé.

Autre Scholie. Soient, *Fig. 16.* $K\varphi$, $K\rho$, $K\mu$ respectivement égales & paralleles à OF, Ar, Zm, on reconnoîtra aisément que si les puissances OF, Ar, Zm, qui faisoient équilibre avec KP sont transportées en $K\varphi$, $K\rho$, $K\mu$, elles y feront encore équilibre avec KP : c'est pourquoi si on fait sur deux directions quelconques un parallelogramme, par exemple, $PK\varphi Y$, & un autre $\mu K\rho\upsilon$ sur les deux autres, la diagonale KY sera égale & directement opposée à la diagonale $K\upsilon$. Or si les quatre lignes KP, $K\varphi$, $K\rho$, $K\mu$ sont dans un même plan, ce qui arrive quand les deux résistances sont AR, ZM, on reconnoîtra encore que la somme $AR + ZM$ est moindre que la somme $KP + OF$, si les points O & K sont entre les points A, Z, mais que la somme premiere est toujours plus grande que la diagonale $K\upsilon = KY$, à moins que l'intervalle AZ ne soit infiniment grand. Si l'un des points A, Z est entre les points O, K, la somme $AR + ZM$ est plus grande que dans le cas précédent, & moindre que dans le suivant. Enfin, si les points A, Z sont entre les points O, K, la somme $AR + ZM$ surpasse l'autre somme $KP + OF$, & à plus forte raison la diagonale KY, &c. *Fig. 16.*

THEOREME V.

Par quelqu'un des points A, K, O, Z, *Fig. 15.* c'est-à-dire par l'une des directions des quatre puissances qui *Fig. 15.*

ſont en équilibre, ſoit menée à l'une des trois autres directions une droite quelconque, (ſoit par exemple AS menée ſur Zm;) par les deux autres directions, ſoient deux plans paralleles, (par exemple $PK\varphi$, πOF;) la droite qui touche les deux premieres directions rencontre ces plans aux points X, E, par chacun deſquels ſoit menée une perpendiculaire ſur la direction qui eſt dans le même plan, (par exemple, ſoit XY perpendiculaire à KP, & EV perpendiculaire à OF.) Je dis que les deux puiſſances aux directions deſquelles on a mené les perpendiculaires, ſont réciproque ment comme ces perpendiculaires, par exemple, $KP, OF :: EV, XY$.

Les ſections $K\mu X$, OE du plan $AZmS$ par les plans $PK\varphi$, πOF, ſont paralleles; ſur OE ſoit priſe $Oe = KX$, & ſoit eu parallele à EV, on aura l'analogie
$EV, eu :: OE, Oe = KX :: AO, AK$: ſoit $OE = KX$ ſinus total, on aura $eu, XY :: \text{ſin.}\, FOE = \varphi K\mu, \text{ſin.}\, PK\mu$; donc en multipliant par ordre
$EV, XY :: AO \times \text{ſin.}\, \varphi K\mu, AX \times \text{ſin.}\, PK\mu ::$ (*Theor. 3.*) $KP, OF :: EV, KY$

Fig. 17. *Corollaire I.* Par le point S ſoit menée une ligne $Soka$ qui touche les directions OF, KP en o, k, les ſections oE, kX du plan $ASoka$ par les plans paralleles $PK\varphi$, πOF ſont paralleles; ſur oE prolongée s'il eſt néceſſaire, ſoit priſe $o\varepsilon = Kk$ pour ſinus total, & ſoit εv parallele à EV, on aura l'analogie $EV, \varepsilon v :: oE, o\varepsilon = kX :: So, Sk$,
& cette autre $\varepsilon v, XY :: \text{ſin.}\, FoE, \text{ſin.}\, PkX$; donc en multipliant par ordre, $KP, OF :: EV, XY :: So \times \text{ſin.}\, FoE, Sk \times \text{ſin.}\, PkX$ donc;
$KP \times Sk \times \text{ſin.}\, PkX = OF \times So \times \text{ſin.}\, FoE$; donc enfin
$\text{ſin.}\, PkX, \text{ſin.}\, FoE :: OF \times So, KP \times Sk$. Si on compare cette derniere analogie avec celles du corollaire du Théorême III. on appercevra que les ſinus des angles que les directions OoF, kKP font avec les ſections oE, kX de leurs plans paralleles par le plan $ASoka$, ont entre eux un rapport compoſé d'élémens ſemblables, & combinés de la même maniere que ceux mentionnés dans ledit Corollaire. Ainſi on doit conclure que ſi les trois puiſſances Zm, OF, KP, ſans rien changer à leurs directions, ſont appliquées à la ligne $Soka$, le plan $ASoka$ eſt celui où ſe doit rencontrer

contrer la quatriéme puissance qui fera équilibre avec les trois premieres, par conséquent *Ar* qui faisoit équilibre avec elles, est dans le plan *ASoka*, & la ligne *Soka* qui touche trois directions, touche aussi la quatriéme.

Corollaire 2. Si par un point quelconque *S* de la direction d'une des quatre puissances qui sont en équilibre sur un levier, on méne une droite qui touche deux autres directions, cette ligne touchera aussi la quatriéme ; car de ce point *S* on peut concevoir qu'il part une autre ligne qui touche le levier à un des points où les trois autres puissances lui sont appliquées, &c. Ceci est aisé à vérifier par l'expérience. Soit une baguette suspendue à trois fils qui ne soient ni paralleles ni convergens à un point commun, soit attaché au centre de gravité de la baguette un quatriéme fil qui porte un plomb assez pesant pour empêcher les trois autres fils de se courber en chaînette ; cet assemblage prendra de lui-même la situation necessaire à l'équilibre. Soient prolongés les quatre fils en ligne droite, si on cherche un lieu d'où en borneyant on puisse voir trois fils se couper en apparence au même point, on verra aussi le quatriéme passer par le même point, parce que la ligne qui touche les quatre directions est alors l'axe visuel. Quand on a trouvé un lieu d'où l'on puisse voir les quatre fils concourir, on peut aisément changer de situation sans cesser de voir les fils se croiser en apparence au même point, parce que le chemin que l'œil doit suivre pour cela, est à peu-près une ligne droite. Ce petit Phénoméne m'a paru agréable, & plaira peut-être aux Géometres. On sçait que la figure du corps auquel sont attachées les puissances qui sont en équilibre, est indifférente à cet équilibre ; ainsi je dis en général, que si 4 puissances non paralleles sont en équilibre, la ligne droite qui touche trois directions rencontre aussi la quatriéme.

Cor. 3. Par les points *X*, *E*, *Fig.* 15. soient menées *Xp* parallele à *KP*; *Ef* parallele à *OF*. Je dis que les résistances *Ar Zm*, demeurant en leur situation, & les puissances *KP*, *OF* étant transportées en *Xp*, *Ef*, ces quatre forces *Fig.* 15.

feroient encore en équilibre ; car fi on mene fur Xp, la perpendiculaire Ky égale & parallele à XY, & fur Ef la perpendiculaire Ov égale & parallele à EV, on aura cette analogie $KP. OF :: Ov, Ky$, qui eft femblable à celle du Théor. 5. puifque $Ov. Ky$ font à l'égard de $AKOZ$, des lignes homologues à XY, EV, à l'égard de $AXES$. Ainfi pour trouver la valeur des réfiftances Ar, Zm, qui font équilibre avec deux puiffances KP, OF, il n'eft pas neceffaire de connoître la ligne $AKOZ$ que touchent toutes les directions ; mais il fuffit de fçavoir à quels points X, E, la ligne AS qui touche les réfiftances, eft coupée par les plans paralleles qui portent les directions des puiffances.

Scholie. Si trois ou plufieurs puiffances font appliquées à un levier, on prouvera comme on a fait ci-deffus, que deux réfiftances appliquées à des points arbitraires de ce levier fuffifent pour les mettre en équilibre, & que le point d'application d'une réfiftance étant donné, la feconde réfiftance indéterminée eft avec le levier dans un plan déterminé ; on trouvera différentes valeurs du rapport d'une puiffance à l'autre : fi toutes les puiffances font fituées de telle maniere qu'on puiffe mener des plans paralleles par toutes leurs directions, en tirant une ligne d'une réfiftance à l'autre, & des points où cette ligne rencontre les plans paralleles des perpendiculaires aux directions des puiffances, on trouvera que la fomme des puiffances qui font d'un côté de la ligne qui touche les réfiftances, eft à la fomme des puiffances qui paffent de l'autre côté de cette ligne, réciproquement comme la fomme des perpendiculaires d'une part eft à la fomme des perpendiculaires d'autre part ; on fera voir que les puiffances peuvent être tranfportées fur la ligne qui touche les réfiftances fans détruire l'équilibre, &c. Au refte quand il y a plus de quatre forces non paralleles qui font en équilibre fans être dans un même plan, il n'y a qu'une ligne & quelquefois il n'y en a aucune qui puiffe toucher toutes les directions. J'obferve à cette occafion une certaine gradation. S'il n'y a que deux puiffances qui foient en équilibre, elles font

ſur la même ligne; s'il y en a trois, elles ſont ſur le même plan, & convergent à un même point, (ſi ce n'eſt qu'elles ſoient paralleles,) s'il y en a quatre, elles peuvent être en différens plans: mais une droite peut toucher toutes les directions, & paſſer par un point quelconque de l'une d'entre elles, &c.

§. II. *Equilibre ſur le Treuil entre deux puiſſances & deux réſiſtances.*

Quoiqu'on n'aye pas encore parlé nommément du Treuil, & des Machines qui ſous différens noms lui ſont équivalentes, cependant il reſte peu de choſes à en dire; *Fig.* 15. 16. 17.
car on a ſans doute apperçu que la ligne $AXES$, *Fig.* 15. 16. 17. eſt l'axe d'un Treuil dont A & S ſont les points d'appui, & auquel la puiſſance dirigée ſuivant kKP, & le fardeau dirigé ſuivant OoF ſont appliqués, ſoit par les rayons ſolides XY, EV, ſoit autrement. Ainſi tout ce qu'on a dit dans le §. précédent peut & doit être entendu du Treuil.

Après ce qu'on a dit Schol. 2. Theor. 4. il ne faut qu'un mot pour juſtifier le reproche d'inſuffiſance & de fallacité, qu'on a fait à la Théorie de M. Varignon quant à la charge des appuis. Cet habile Géometre s'eſt contenté de projetter les directions des deux puiſſances ſur un plan $PK\varphi$, *Fig.* 16.
Fig. 16. & faiſant un parallelogramme $PK\varphi Y$, il dit que ſa diagonale KY repreſente la charge des appuis. Un génie crédule & borné, un Artiſan peuvent s'imaginer qu'un ſeul appui ſuffiroit au Treuil; que s'il y en a deux, leurs charges ſont dans le même plan, & qu'on n'a qu'à diſtribuer entre eux la charge KY, à peu-près comme on partageroit la charge de la poulie ſur ſes deux tourillons, &c. Mais tout cela n'eſt vrai que quand les deux puiſſances ſont réellement dans un même plan, & il faut bien prendre garde en quel point l'axe eſt rencontré par ce plan, afin de faire une diſtribution juſte de la charge KY ſur les deux appuis.

Si les deux puiſſances qui ſont en équilibre ſur le Treuil ſont paralleles, on ne peut pas en rigueur dire qu'une ligne

A Z qui partiroit d'un des points d'appui, touchera leurs directions : ainsi la méthode proposée semble n'être pas générale. Cependant comme on suppose que des paralleles convergent à un point infiniment éloigné, il seroit aussi permis de supposer qu'une droite qui a un point hors du plan de deux paralleles, touche ces deux paralleles, &c. Quoi qu'il en soit de cette subtilité, sur laquelle j'insiste peu, parce qu'il est bien moins important d'avoir une méthode générale que d'en avoir une commode, on peut aisément démontrer que les deux puissances paralleles chargent les appuis de la même maniere qu'elles feroient, si elles étoient transportées sur le point où l'axe est rencontré par leur plan; ainsi lorsqu'elles tirent en même sens, c'est leur somme, & lorsqu'elles tirent en sens contraire, c'est leur difference qui se distribue sur les appuis.

Fig. 17. Un calcul fondé sur le Coroll. du Theor. 3. déterminera avec précision la situation des plans *S A K O Z m*, *A S o k a r* où se trouve la charge indeterminée de chaque appui *S*, *A* du Treuil; mais cette voye est pénible, & d'ailleurs elle suppose que le rapport de la puissance au fardeau est connu, avantage que l'on n'a pas toujours, comme on le sentira dans la suite. On trouvera méchaniquement ces deux plans en tirant les deux droites *A K O Z*, *S o k a* qui touchent les directions des deux puissances, & même sans tirer ces lignes on estimera à peu-près leur position d'un coup d'œil.

J'ai dit que les résistances *A r*, *Z m* qui pouvoient faire équilibre avec les deux puissances appliquées ou au levier *AKOZ*, ou au Treuil *A X Y E V S*, étoient indeterminées; cela est vrai en général, & en faisant abstraction de la figure des bouts *A*, *Z* du levier, ou des pivots *A*, *S* du Treuil; mais en particulier & la figure des pivots du Treuil étant fixée, la couple de résistances seule capable de faire équilibre aux deux puissances est déterminée, ou bien l'équilibre est impossible. Il ne faut qu'une connoissance médiocre de la Méchanique, pour trouver cette couple necessaire à l'équilibre, & pour voir que la figure cylindrique des pivots est préférable à toute autre.

Si on veut avoir égard à la réaction parallele des appuis du Treuil au mouvement de ses pivots, ce qu'on a dit jusqu'ici ne cesse pas de subsister ; mais la ligne *AXES* doit être distinguée avec soin de l'axe du Treuil : le point *A* appartient à la surface de l'un des pivots, & le point *S* à la surface de l'autre, en telle sorte que le plan *ASokar* fasse avec la surface du pivot *A*, & le plan *SAKOZm* avec la surface du pivot *S* des angles aigus égaux à l'angle *PRE* de la figure premiere. Comme les lieux *A*, *S* dépendent reciproquement l'un de l'autre, il y a un très-grand nombre de cas où il seroit difficile de les déterminer géométriquement, & ce sont tous ceux où les plans *Asokar*, *SAKOZm* sont distingués ; alors je crois qu'on peut se servir de fausses positions qu'on corrigera l'une après l'autre. Par un point *A* choisi par estime sur un pivot, on menera la ligne *AKOZ* qui touche les deux puissances, & par cette ligne le plan *AKOZmS* qui fasse l'angle requis avec la surface du second pivot, on aura un lieu *S* peu different du veritable ; par ce point *S* on menera la droite *Soka*, & par cette ligne un plan *ASokar* qui fasse l'angle requis avec la surface du premier pivot, on aura un lieu *A* beaucoup plus juste que celui qui avoit été estimé, duquel on se servira pour corriger si l'on veut le premier lieu *S*. Mais quand les charges des deux appuis sont dans un seul plan, il est facile de trouver géométriquement la situation de la ligne *AXES*.

Il est peut-être superflu d'observer que plus les pivots du Treuil sont gros, plus le point *X* de la ligne *AXES* est voisin de la direction de la puissance *KP*, & le point *E* éloigné de celle du fardeau *OF*, plus par consequent le rapport d'*EV* à *XY*, égal à celui de la puissance & du fardeau, diminue. Si les pivots sont inégaux, plus les points *E*, *X* sont voisins du gros pivot, & plus grande est la diminution du rapport d'*EV* à $XY = KP.\ OF$, &c.

Lorsqu'il y a plusieurs puissances appliquées au Treuil, & y faisant équilibre, s'il y en a quelques-unes dans le même plan, on trouvera par les moyens enseignés dans les traités

de Méchanique, la puiſſance unique qui leur eſt équivalente, & on la leur ſubſtituera ; toutes les ſubſtitutions étant faites, s'il reſte plus de deux puiſſances, par exemple, s'il en

Fig 18. reſte quatre OF, KP, of, kp, *Fig.* 18. (qu'il ſeroit à propos de faire en relief à cauſe de la multitude des plans qu'il faut concevoir,) de l'un des points d'appui A, B, par exemple, du point A ſoit conçûe partir la ligne $AKOZ$ qui touche deux directions KP, OF, la réſiſtance quelconque ZM, qui avec une autre réſiſtance AR pourroit faire équilibre avec les puiſſances OF, KP, eſt dans un plan déterminé AZM. Du même point A, ſoit conçûe partir une autre droite $Akoz$ qui touche les deux autres directions, la réſiſtance quelconque zm capable avec une compagne Ar, de faire équilibre avec les puiſſances of, kp, eſt dans un plan déterminé Azm qui coupe le plan déterminé AZM dans une ligne déterminée AXS. Les réſiſtances zm, ZM compoſent enſemble une ſeule réſiſtance indéterminée qui eſt celle de l'appui B ſituée dans le plan déterminé $BAXS$. (Une opération ſemblable étant faite en partant de l'appui B, on verra que le plan où ſe trouve la réſiſtance de l'appui A eſt auſſi déterminé.) Soient PKX, FOE des plans paralleles qui coupent en X, E la ligne AS appartenante au plan AZM ; on a vû Cor. 3. du Théor. 5. que les puiſſances KP, OF pourroient être transferées parallelement à elles-mêmes ſur les points X, E ſans ceſſer de faire équilibre avec les réſiſtances AR, ZM. Soient auſſi pkx, foe deux autres plans paralleles qui coupent en x, e la ligne AS appartenante au plan Azm, les puiſſances of, kp peuvent être tranſportées parallelement à elles-mêmes en e, x, ſans détruire leur équilibre avec Ar, zm. Par ces tranſpoſitions des puiſſances, on réduit le Treuil à un levier auquel ſont appliquées pluſieurs puiſſances, ce qui eſt le cas indiqué dans le Scholie final du §. précédent. Si les quatre plans PKX, FOE, pkx, foe, à chacun deſquels appartient la direction d'une puiſſance, ſont paralleles, non-ſeulement les quatre puiſſances peuvent être appliquées aux points X, E, x, e de la ligne



AS, ſans détruire l'équilibre entre elles & les réſiſtances des appuis *A*, *B*; mais elles peuvent auſſi être placées aux points où les quatre plans paralleles coupent la ligne *AB*, & continuer de faire équilibre avec les mêmes réſiſtances qu'auparavant. Cette Obſervation donne quelque facilité pour calculer la valeur des réſiſtances des appuis *A*, *B*, ſi l'on veut en prendre la peine.

Ce qu'on vient de dire en dernier lieu pour quatre puiſſances appliquées au Treuil, peut être étendu au cas où il y en auroit un plus grand nombre, pourvû qu'elles fuſſent toutes dans des plans paralleles. D'ailleurs il eſt égal de placer ſur un point la puiſſance unique qui eſt équivalente à pluſieurs forces, ou deplacer toutes ces forces ſur le même point. Ainſi je dis en général que pour connoître les charges des appuis du Treuil, quand toutes les puiſſances ſont dans des plans paralleles, toutes ces puiſſances peuvent être cenſées appliquées aux points où la ligne *AB* qui joint les lieux d'appui eſt coupée par leſdits plans.

Coroll. Si toutes les puiſſances deſtinées à enlever un fardeau à l'aide d'un Treuil, ſont diſpoſées de telle maniere que deux à deux elles ſoient paralleles & égales, l'une de ces deux tirant ou pouſſant par exemple à l'orient, ſa compagne pouſſe ou tire à l'occident; ſi elles étoient donc transferées au même point de la ligne *AB*, elles ne chargeroient aucunement les appuis; elles ne les chargent donc point dans le lieu où elles ſont. C'eſt le fardeau ſeul par conſéquent, qui dans l'hypothéſe propoſée charge les appuis de la même maniere qu'il feroit s'il étoit appliqué immédiatement à la ligne *AB*; ainſi les charges des appuis ſont dans un ſeul plan parallele à la direction du fardeau, & ces charges ont au fardeau les rapports marqués dans les Coroll. 4 & 5 des lemmes du §. précédent, *Fig.* 13. La même diſpoſition des puiſſances étant obſervée, ſi au lieu d'enlever un fardeau avec le Treuil, on lui fait faire deux efforts en ſens contraire, les appuis ne feront chargés que par la difference de ces efforts. *Fig.* 13.

Scholie. Dans le même cas où toutes les puiſſances appliquées au Treuil ou au levier, ſont dans des plans paralleles, ſi toutes ces puiſſances ſont tranſportées ſur des lignes qui menées dans l'un de ces plans, leur ſoient reſpectivement paralleles, & qui concourent à un ſeul point, & que les réſiſtances des appuis du Treuil ſoient auſſi appliquées au même point, parallelement à leur premiere ſituation: tout ce ſyſtême continuera à faire équilibre de même que celui des quatre puiſſances KP, OF, Ar, Zm, dont on a parlé dans la 2e Scholie du Theor. 4. L'équilibre ſubſiſteroit encore entre toutes les puiſſances & les réſiſtances des appuis, ſi tous les plans paralleles qui contiennent les directions des puiſſances ſe rapprochoient & ſe confondoient en un ſeul, en ſorte que la ligne AB ſe reduisît à un point. Ainſi en

Fig. 19. projettant ſur un ſeul plan, *Fig.* 19. les directions des forces motrices KP, kp, & des fardeaux OF, of, (s'il y en a pluſieurs,) appliqués au Treuil conformément à la Methode de M. Varignon qui eſt fort bonne à cét égard, on trouvera aiſément le rapport de la ſomme des forces motrices à la ſomme des fardeaux qu'on enleve, ou des efforts que l'on produit avec le ſecours du Treuil.

Si on méne la droite AS par le point S où les directions ZM, zm ſe rencontrent, on aura ces analogies: Au triangle AZS, $AZ . AS :: \text{ſin. } ASM . \text{ ſin. } AZM$, & $AS . Az :: \text{ſin. } Azm : \text{ſin. } ASm$ au triangle ASz: donc en faiſant le produit des extrêmes égal au produit des moyens $AZ \times \text{ſin. } AZM \times \text{ſin. } ASm = Az \times \text{ ſin. } Azm \times \text{ ſin. } ASM$, donc

Fig. 18. $AZ \times \text{ſin. } AZM . Az \times \text{ſin. } Azm :: \text{ſin. } ASM . \text{ ſin. } ASm :: zm . ZM$, c'eſt-à-dire, que les réſiſtances indéterminées ZM, zm ſont réciproquement comme les ſinus des angles que leurs directions font avec la ligne menée du point A à leur concours.

RECHERCHE
DE LA MEILLEURE CONSTRUCTION DU CABESTAN.

Axem si duplicent, motu exercere perenni,
Funeque perpetuo possunt involvere Nautæ.

LA meilleure construction du Cabestan, est celle qui réunit de plus grands avantages, ou qui est sujette à moins d'inconvéniens ; car cela revient au même sens. J'aurois souhaité que l'Académie les eût détaillés tous aussi distinctement qu'elle en a marqué un ; j'aurois mieux connu le but auquel il faut tendre, & la route qu'il falloit suivre, & j'aurois discerné plus facilement si j'étois en état ou non d'y atteindre. Les inconvéniens du Cabestan qui me sont connus, se réduisent à quatre ; Sçavoir, 1°. La necessité d'interrompre son mouvement, expliquée dans l'annonce de l'Académie, & ses suites. 2°. La difficulté de dévider de gros cordages sur son essieu, & la necessité réelle ou prétendue de se servir d'un cordage médiateur nommé Tournevire. 3°. L'inégalité des fardeaux qu'on veut élever, ou des résistances qu'on veut vaincre à l'aide du Cabestan. 4°. Le déchet de l'effet désiré, causé par les frottemens, ou bien par la réaction parallele des appuis du Cabestan. J'essayerai de sauver ou de diminuer ces inconveniens en quatre articles, qui seront precedés d'un autre, où j'examine quelle est la meilleure situation de l'essieu, & la meilleure disposition des forces motrices. Je suppose que la forme du Cabestan vulgaire est connue.

ARTICLE PREMIER.

Obſervations ſur la ſituation de l'eſſieu du Cabeſtan, & ſur la poſition des manœuvres.

§. I. L'eſſieu du Cabeſtan eſt vertical ; les Machines ſemblables pour le fond au Cabeſtan, qui ſe nomment Treuil, Vireva, &c. ont leur eſſieu horiſontal : il s'agit de comparer ces deux ſituations d'eſſieu, pour voir s'il y en a une plus avantageuſe que l'autre.

Lorſque l'eſſieu eſt vertical, le travailleur appliqué à la Machine, ſe meut dans un plan horiſontal ; il peut marcher aſſez vîte ; mais il ne fait qu'un effort modique horizontal. Lorſque l'eſſieu eſt horiſontal, le manœuvre aidé par ſon poids fait dans un plan vertical un effort aſſez conſiderable ſur le levier ou le rayon qu'il tient ; mais ſon mouvement eſt lent. (Si le manœuvre marche dans un tambour appliqué à l'eſſieu, il agit par tout ſon poids ; mais ſa direction paſſe fort près du centre de la Machine, & la vîteſſe du point auquel cette direction coupe un rayon à angles droits eſt fort petite.)

Or l'effet d'une Machine qui a acquis une vîteſſe uniforme, eſt proportionnel à la quantité du mouvement du fardeau qu'elle éleve, c'eſt-à-dire, au produit de la maſſe du fardeau par ſa vîteſſe ; lequel, ſi on fait abſtraction du dechet cauſé par le frottement, eſt égal au produit de la force motrice par la vîteſſe abſolue du point auquel cette force eſt appliquée, ou doit être rapportée. Si l'effort horiſontal que fait un homme, eſt à l'effort que le même homme fait dans un plan vertical, comme ſa vîteſſe moyenne dans le plan vertical eſt à ſa vîteſſe moyenne dans le plan horiſontal, cet homme produira à-peu-près le même effet à l'aide d'un eſſieu, ſoit vertical, ſoit horiſontal. Or il y a quelque apparence que la moyenne vîteſſe horiſontale d'un homme eſt à la moyenne vîteſſe que peuvent avoir ſes bras dans un plan vertical, reciproquement comme les efforts qu'il fait en chaque maniere. Ce qui peut empêcher la réciprocité, c'eſt que le mouvement du corps

d'un homme qui tire avec les bras, eſt alternatif & interrompu, au lieu que celui d'un homme qui marche eſt preſque continu, & interrompu ſeulement dans ſes jambes ; c'eſt pourquoi celui qui marche, depenſe peut-être moins de force à proportion pour entretenir ſon mouvement, que celui qui tire avec les bras pour ſe donner le ſien. Je renvoye ſur cela à l'expérience.

Une difference du Cabeſtan & du virevau, c'eſt qu'on peut diſpoſer autour du Cabeſtan un bien plus grand nombre d'hommes qu'on ne peut en mettre ſur le virevau, quand même il y auroit une roue ou des leviers à chaque bout de l'eſſieu du virevau. Ainſi le Cabeſtan eſt préferable au virevau, quand il s'agit de faire de grands efforts. Une autre difference de ces Machines, qui eſt à l'avantage du virevau, c'eſt que le volume de celle-ci peut être moindre que celui du Cabeſtan. Les Machines que l'on fait mouvoir avec les pieds, telles que ſont celles qui ont un tambour, ont un avantage particulier, c'eſt que le manœuvre agiſſant par ſon poids, fait neceſſairement tout l'effort dont il eſt capable, pourvu qu'il avance, au lieu que les manœuvres deſtinés à pouſſer ou tirer les leviers plantés dans un eſſieu, peuvent ſe ſoulager aux dépens les uns des autres, ou au détriment de l'effet qu'on veut produire. J'ai vu des coquins de preſſureurs qui imitant aſſez bien la poſture de gens qui feroient grand effort, en faiſoient cependant ſur leur Cabeſtan très-peu, & au contraire ſe divertiſſoient quelquefois à ſe faire traîner par de bonnes gens qui vouloient les aider.

Une qualité avantageuſe particuliére au Cabeſtan, c'eſt qu'on peut diſpoſer autour de ſon eſſieu des forces égales, dirigées parallelement deux à deux en ſens contraire, en ſorte que le fardeau ſeul produiſe la charge des appuis, ſuivant ce qui a été dit art. 2. §. 2. du préambule ; car le dechet cauſé par le frottement des pivots ſur les appuis du Cabeſtan en eſt d'autant moindre que le dechet ſouffert ſur l'effet des autres Machines dont l'eſſieu eſt horiſontal, dont les appuis ſont preſque toujours chargés conjointement par le fardeau & par

les puissances motrices qui tirent de haut en bas, & ne pourroient tirer de bas en haut sans désavantage. D'ailleurs quand les puissances motrices ne contribuent en rien à la charge des appuis, leur situation devient en *certain sens* indifferente à l'égard des appuis, (ce qui procure de l'aisance pour leur emplacement, & pour celui des barres ausquelles elles sont appliquées,) au lieu que quand la puissance motrice contribue à la charge des appuis, on doit éviter, autant qu'on peut, de la placer hors de l'intervalle compris entre les appuis, parce que leur charge en seroit augmentée suivant ce qui a été avancé Schol. 2. art. 2. §. 1. du préambule.

J'observe à cette occasion, qu'il ne faut jamais que la direction du fardeau soit hors de l'espace contenu entre les appuis du Cabestan; car si elle étoit en dehors, la charge des appuis pourroit aisément augmenter jusqu'au double ou au triple, suivant qu'il résulte du §. 2. art. 2. du préamb. Il faut aussi faire les pivots aussi petits qu'on le pourra sans nuire à la solidité de la Machine, & si les pivots sont inégaux, éloigner la direction du fardeau du pivot qui sera plus gros. J'avertis de ces choses, parce qu'il m'a paru qu'on les négligeoit quelquefois. Un des appuis du Cabestan vulgaire est pratiqué dans le pont supérieur du vaisseau, l'autre appui est au-dessous; or on m'a mandé que dans quelques manœuvres on devidoit le cordage amarré au fardeau sur la portion de l'essieu saillante au-dessus du premier pont.

J'ai dit que la situation des forces motrices du Cabestan, à l'égard de ses appuis étoit en certain sens indifferente, parce qu'elle n'est pas telle absolument. Lorsque les barres ausquelles sont appliquées les forces, sont exterieures aux appuis, la solidité necessaire à la Machine requiert ordinairement que le pivot qui est dans le corps de l'essieu, soit plus gros que celui qui est à son extremité, & par là le dechet que causent les frottemens, se trouve augmenté non-seulement par la raison touchée §. 2. art. 2. du préambule; mais encore parce que le gros pivot doit glisser sur son appui avec plus de vîtesse que s'il étoit petit, & que l'augmen-

tation de la vîteſſe relative de deux corps augmente leur frottement ou réaction parallele. On peut voir un exemple de ces inconvéniens dans les moulins à vent, dont la force motrice eſt appliquée à la partie de l'arbre ſaillante hors du corps du moulin; & dans les moulins conſtruits ſur des batteaux, qu'on voit à Paris: les autres moulins à eau en ſont exemts. La ſituation des forces motrices au dehors des appuis étant neceſſaire à quelques Machines, & pouvant être fort avantageuſe à d'autres, je tâcherai dans l'article dernier de remedier à cet inconvenient que cette ſituation entraîne avec elle. (Au reſte j'obſerve que ſuivant un deſſein du Cabeſtan vulgaire, qui m'a été envoyé de Paris, le pivot ou entaille qui eſt dans le corps de l'eſſieu & qui s'appuye ſur l'étambraye pratiquée dans le pont ſupérieur, eſt égal à l'autre pivot, & tous deux ont un pied de diamétre, l'eſſieu n'en ayant que trois.)

§. II. Un homme ou quelque animal que ce ſoit, qui pouſſe ou tire une barre en marchant, n'eſt pas capable de faire le même effort lorſqu'il marche vîte, que lorſqu'il marche lentement ou qu'il eſt arrêté. L'uniformité de vîteſſe à laquelle parviennent neceſſairement toutes les Machines mues par les animaux, & qui ne peut venir de la ſeule augmentation de leur frottement, démontre cette décroiſſance d'effort qu'on pourroit expliquer par des conſidérations Phyſico-Anatomiques; mais cela iroit trop loin. Or il faut obſerver que l'effort que fait un animal, n'eſt pas reciproque à la vîteſſe de ſon allure. (Ce que j'avance ici, n'eſt pas contraire à ce que j'ai dit à l'entrée du § précédent; là je comparois les vîteſſes moyennes de mouvemens de differente eſpéce, & les efforts correſpondans à ces vîteſſes; ici je compare les differentes vîteſſes d'un même genre de mouvement.) Soit CA, *Fig.* 20. l'expreſſion de la plus grande vîteſſe dont un animal eſt capable, & l'indéterminée CE une vîteſſe quelconque; ſoit CB, l'expreſſion de l'effort de cet animal ſur un obſtacle qui l'empêche abſolument d'avancer, que l'effort de cet animal mû avec la vîteſſe Ce ſoit repreſenté par ef, *Fig.* 20.

parallele à BC, & ordonnée à une ligne BfF, qui doit être terminée au point A; il eſt évident, ce me ſemble, que $BfFA$ ne peut être une hyperbole qui ait AC, BC pour aſimptotes, comme il ſeroit neceſſaire afin que l'effort fût réciproque à la vîteſſe.

Cela étant, il y aura un degré de vîteſſe CE qui étant multiplié par l'effort correſpondant EF, on aura un produit qui ſera un *maximum*, & qui ſera auſſi le *maximum* des effets que l'animal peut produire avec une Machine lorſqu'elle a acquis ſa vîteſſe uniforme, pourvû que l'on faſſe abſtraction du dechet que cauſe le frottement ou la réaction parallele des pivots de la Machine. Cependant il y aura des vîteſſes Ce moindres ou plus grandes que CE, dont le produit par l'effort correſpondant ſera peu différent du *maximum* $EF \times CE$, parce que la ligne $BfFA$ différe peu de l'hyperbole dans le lieu F: toutes ces vîteſſes Ce, je les nomme avantageuſes.

Il eſt probable que le degré de vîteſſe auquel répond le *maximum* des effets d'un animal, n'eſt pas le même pour tous ceux de ſon eſpece; ainſi le *maximum* d'un travailleur répondant à la vîteſſe CE, le *maximum* d'un autre homme peut répondre à la viteſſe CI, & comme on a dit que le premier homme avoit pluſieurs vîteſſes avantageuſes Ce, le ſecond en aura pluſieurs ſemblables Ci.

Soit maintenant Ce la moindre ou l'une des moindres vîteſſes avantageuſes de pluſieurs hommes, & Ci l'une des plus grandes; ſoit auſſi $CEIA$ la barre d'un Cabeſtan, dont C eſt le centre, & dont la vîteſſe angulaire eſt donnée. Les vîteſſes abſolues des différens points de cette barre, & celles des hommes qui y ſont appliqués, ſont proportionnelles aux diſtances Ce, Ci, & peuvent être repreſentées par ces lignes, pourvû que CA ait été pris d'une juſte grandeur. Je dis qu'en diſtribuant les manœuvres en claſſes ſemblables, dont chacune ſoit compoſée d'hommes ſubordonnés les uns aux autres pour la vîteſſe avantageuſe, on peut appliquer une claſſe à toute l'étendue ei de la barre, & qu'on

ne doit point mettre de travailleurs hors de cet eſpace.

Si on vouloit avoir égard au dechet cauſé par le frottement, il faudroit retrancher de chaque effort EF, ef, la partie FG, fg, neceſſaire pour vaincre le frottement; il y aura quelque ordonnée $\epsilon\gamma$ à la ligne $b\,g\;G\,A$, dont le produit par l'abſciſſe $C\epsilon$ ſera le vrai *maximum* des effets utiles que produit mediatement par la Machine l'homme dont le *maximum* abſolu eſt $EF \times CE$. Si la ligne $bg\;GA$ eſt plus convexe que $BfFA$, du côté de la baſe CA, le point ϵ doit tomber entre C & E; cette conſidération du frottement n'empêche point de dire en général, qu'il y a une portion des barres du Cabeſtan où l'on peut appliquer quelques hommes de front.

Les mouvemens angulaires ſont entre eux réciproquement comme les diſtances du centre au point qui a une vîteſſe abſolue donnée. Plus le mouvement angulaire de la barre ca, *Fig.* 21. ſurpaſſe celui de la barre $CEIA$, plus le point i de ca, dont la vîteſſe abſolue eſt égale à celle du point i de $CEIA$, eſt voiſin du centre; c'eſt pourquoi les lignes ce, ci priſes ſur ca étant dans une raiſon ſemblable à celle de ce, ci priſes ſur $CEIA$, l'eſpace avantageux ei auquel on peut appliquer des hommes de front, eſt moindre à proportion de la grandeur du mouvement angulaire. *Fig.* 20. 21.

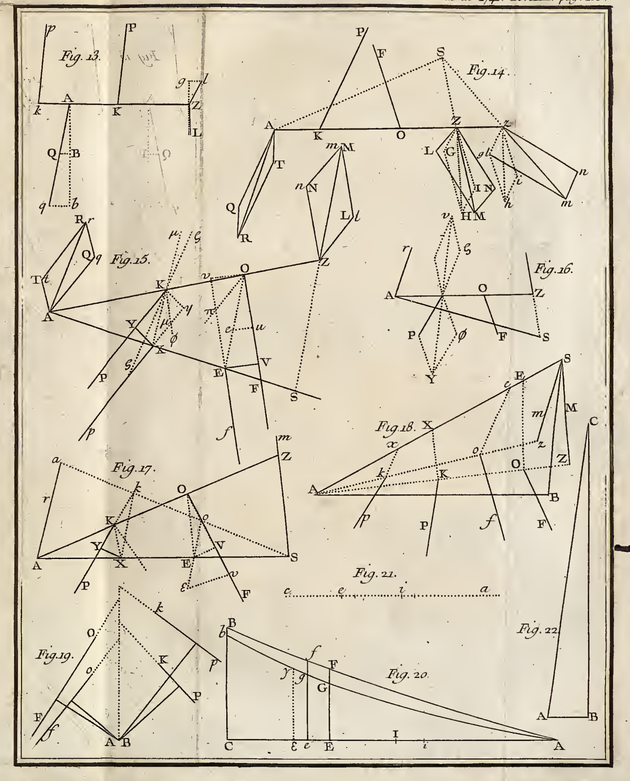
Il s'agiroit maintenant de ſçavoir quelles ſont les lignes BFA, bGA, & quel eſt le lieu des *maximum*. dont j'ai parlé; mais j'avouerai ingenuement que je ne connois pas la nature de ces lignes, & que je n'ai qu'un ſouvenir confus de l'évaluation que M. de la Hire a faite de la force horiſontale d'un homme: tout ce que j'ai dit juſqu'à preſent ſur ces lignes ne tend qu'à deux fins, l'une eſt d'établir les propoſitions générales que j'ai avancées, la ſeconde eſt d'indiquer ces lignes, & d'en propoſer la recherche à ceux qui peuvent faire les expériences neceſſaires pour les déterminer. La connoiſſance parfaite ou approchée de ces lignes me paroît être d'une abſolue néceſſité pour aſſigner en détail les proportions des parties du Cabeſtan, eu égard au nom-

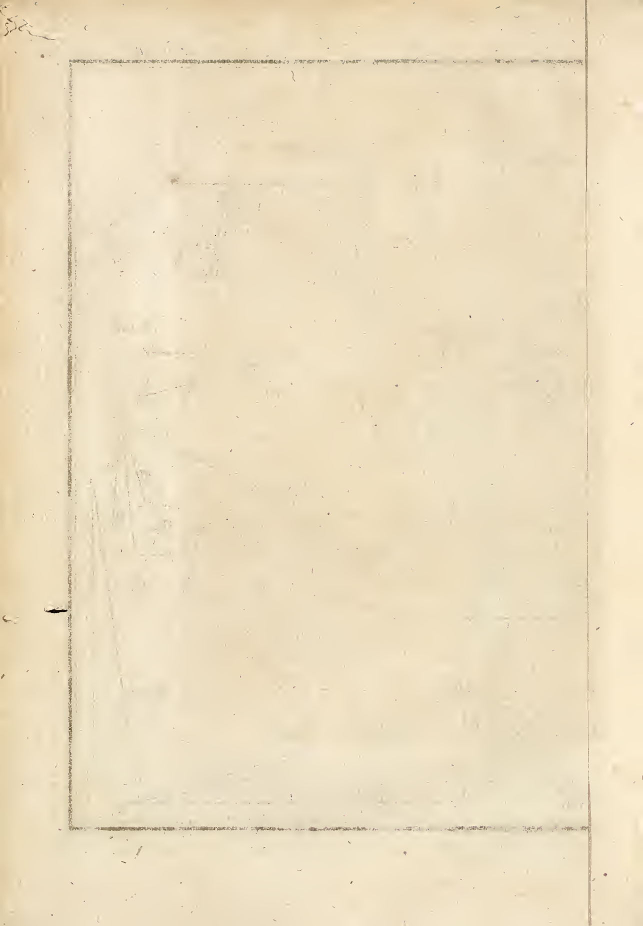
bre des manœuvres qu'on a en sa disposition, à la grandeur des fardeaux qu'il faut enlever, au lieu où le Cabestan doit être placé, &c. Peut-être que les gens experts en la Navigation ont des régles, ou du moins des Observations sur cette matiere, soit touchant la manœuvre du Cabestan même, soit touchant la manœuvre des rames, laquelle est executée par des mouvemens très-inégaux des rameurs.

L'espace avantageux de chaque barre du Cabestan n'est peut-être pas bien grand, & d'ailleurs on n'en peut mettre gueres plus de huit; c'est pourquoi si l'on a besoin de plus de manœuvres que les huit barres n'en peuvent contenir de front, je conseillerois d'en atteler une partie à des courroyes appliquées au lieu le plus avantageux de chaque barre.

J'ai supposé ci-dessus, que l'effort horisontal qu'un certain homme fait en marchant, étoit déterminé par rapport à sa vîtesse. Cette supposition n'est vraie que dans certaines circonstances, & ne l'est pas absolument. Elle est vraie lorsque (comme il est raisonnable) on veut ménager les forces d'un homme qui doit travailler long-temps & sans interruption. Elle est fausse étant prise absolument, c'est-à-dire, qu'il est vrai en général que l'effort du même homme est indéterminé dans l'état même d'une vîtesse certaine, un homme frais & qui ne doit agir que pendant un tems court, peut & doit faire plus d'effort qu'il ne feroit dans d'autres circonstances. Je conviens que c'est le poids du corps du manœuvre, qui est cause de son effort horisontal; mais il n'est pas la seule ni la principale, l'action des muscles y contribue beaucoup plus, le manœuvre accourcit ses jambes en les pliant, & les allonge successivement en les redressant avec contention : il en est de même de l'effort horisontal, que du mouvement horisontal; c'est le poids de notre corps qui détermine notre mouvement à devenir horisontal; mais nous sommes capables d'avancer plus ou moins vîte suivant que nous voulons, & que nous pouvons faire plus ou moins d'effort.

ARTICLE


Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22.



ARTICLE II.

Moyens de rendre le Jeu du Cabestan perpetuel.

§. I. Pendant que l'on vire le Cabestan vulgaire, & que la partie du cordage qui est amarrée au fardeau s'enveloppe d'un côté sur l'*essieu*, l'*arbre*, ou la *meche*, il y a un homme qui tire à lui le cordage de l'autre côté pour le développer, ensorte qu'il n'y a que quatre ou cinq révolutions de cordage dévidées sur l'essieu, & jamais moins d'une. (Suivant un autre avis que j'ai reçu, le cordage fait seulement trois revolutions.)

Les révolutions du cordage n'étant donc pas circulaires mais spirales, & se formant successivement sans pouvoir prendre la place des précédentes, chaque nouvelle spire occupe sur l'essieu une nouvelle place plus voisine de l'un de ses bouts; ainsi après plusieurs tours de la Machine le cordage parvient à ce bout, & ne pouvant plus se dévider sans rétrograder & croiser sa partie qui doit être développée, il faut arrêter le mouvement de la Machine pour *choquer*, c'est-à-dire, pour reporter les spires du cordage à l'autre bout de l'essieu, opération qui étant répetée souvent, emporte beaucoup de tems, & fait perdre une partie de l'effort déja fait: cette partie de l'effort déja fait qui est perdue par l'interruption du virement, est apparemment celle qui avoit produit tout le mouvement que la Machine, le cordage & le fardeau avoient avant l'interruption; car il faut ensuite produire un mouvement pareil, à nouveaux frais.

Lorsque le cordage passe sur un point fixe pour venir à l'essieu, il ne peut être toujours parallele à lui-même, mais il doit faire avec l'essieu des angles différens pendant qu'il en parcourt la longueur. Soit *BC*, *Fig.* 22. égale à la circonférence de l'essieu, *AB* égale au diamétre du cordage, & l'angle *ABC* droit; si l'angle du cordage & de la partie de l'essieu cylindrique qu'il va embrasser, est plus petit que *BAC*, *Fig.* 22.

le cordage doit à chaque tour de la Machine avancer tranſverſalement à lui-même ſur l'eſſieu, d'une quantité plus grande que ſon épaiſſeur. (On peut obſerver pareille choſe dans l'entortillement de la chaîne des montres ſur le tambour.) Si l'angle ſuſdit eſt plus grand que BAC, le cordage doit porter ſur la partie déja roulée, ce qui fait perdre un peu de force, & frotte ſur elle, ce qui gâte le cordage.

Il y a apparence que c'eſt pour empêcher que les ſpires du cordage ne s'écartent les unes des autres, que l'arbre du Cabeſtan vulgaire eſt figuré en cone tronqué : mais ſi on ſauve par là un inconvenient, on retombe dans celui que je viens de décrire ; outre cela le *moment* du fardeau étant variable, & celui de la force motrice conſtant, la variation de vîteſſe, tant du mouvement angulaire de la Machine, que du mouvement abſolu des travailleurs, ne peut recompenſer la variation de l'effort qu'ils doivent faire conjointement en ſorte que l'effet ſoit toujours un *maximum*, d'autant plus que c'eſt vers la fin de chaque repriſe, & lorſqu'ils ſont moins frais, qu'ils doivent faire plus d'effort.

La longueur de l'eſſieu eſt modique, la partie deſtinée à recevoir le cordage n'eſt que de trois pieds, ſuivant le deſſein qu'on m'a envoyé. Plus la partie du cordage devidée autour de l'arbre feroit de revolutions & occuperoit de place, moins il en reſteroit à parcourir au cordage, & la neceſſité de choquer reviendroit plus frequemment. Or ſi l'eſſieu étoit uni, & que le fardeau fût, par exemple, centuple de l'effort que peut faire le developpeur, il faudroit que le cordage fît au moins cinq revolutions, comme il reſulte des Obſervations & calculs du §. 4. de l'art. 1. du préambule. On a donc revêtu l'arbre de taquets angulaires qui réſiſtent beaucoup plus à l'echappement du cordage, que ne feroit un arbre nud ; & par ce moyen on épargne de la place pour faire faire à la Machine environ deux tours de plus qu'elle ne feroit ſans cela entre chaque interruption. Mais l'angle de ces taquets eſt nuiſible au cordage, dans lequel il s'enfonce ; & il peut encore l'offenſer en ce que le cordage

ſe detendant notablement & venant à ſe raccourcir, ne peut demeurer toujours colé au même point, & doit frotter ſur l'angle du taquet.

Avant de chercher le reméde à ces inconvéniens, j'obſerve que la ſimple interruption du mouvement du Cabeſtan n'en eſt pas un auſſi grand qu'elle paroît d'abord, ſurtout ſi elle eſt courte ; car elle procure aux manœuvres un rafraîchiſſement qu'ils peuvent racheter par une plus grande contention pendant qu'ils travaillent. D'ailleurs ce ſoulagement leur eſt peut-être aſſez neceſſaire pour qu'ils le prennent, quoique leur Machine pût jouer ſans cette interruption ; c'eſt ce qui dépend de la grandeur des efforts qu'ils doivent faire. (Les preſſureurs s'arrêtent ſouvent pour reprendre haleine, quoique le repos de leur vis rende plus difficile l'ébranlement qui doit ſuivre.) Enfin il n'y a peut-être aucun des moyens qui rendent le Cabeſtan perpetuel, qui ne ſoit ſujet à quelque inconvenient, ou qui ne rende la Machine plus compoſée, d'un volume plus embarraſſant, d'une conſtruction plus difficile, &c. C'eſt pourquoi afin de ne rien négliger, j'indiquerai dans l'article ſuivant un moyen d'abreger l'interruption du jeu du Cabeſtan.

§. II. Tous les moyens de rendre le Cabeſtan perpetuel conviennent dans un point, qui eſt de faire enſorte que la partie du cordage qui s'étend du fardeau à l'eſſieu, & qui doit s'envelopper, ſoit dans une poſition conſtante à l'égard des appuis du Cabeſtan. Or ſi le cordage ne fait pas moins d'une révolution ſur l'eſſieu, il n'y a que deux voyes à prendre pour obtenir cette ſituation du cordage ; l'une eſt de faire gliſſer continuellement ſur l'eſſieu la portion du cordage roulée autour de lui, de la faire, dis-je, gliſſer ſuivant la longueur de l'eſſieu, vers le lieu où ſe fait le developpement ; ce qui peut s'executer en plus d'une maniere qu'il eſt inutile de détailler ici, parce que cette voye eſt ſujette à pluſieurs inconvéniens généraux.

En premier lieu, il faut un ſurcroit de force pour con-

traindre le cordage de gliſſer ſur l'eſſieu. 2°. Chaque point du cordage étant pouſſé ou tiré par deux forces, l'une qui eſt dans un même plan avec l'axe, par laquelle on veut le contraindre de couler ſuivant la longueur de l'arbre, & l'autre qui provient du fardeau, & qui eſt perpendiculaire à celle-là; ce point ne peut ceder à la premiere de ces forces, qu'il ne cede en même-tems à l'autre, ſuivant ce qu'on a dit à la fin du §. 2. de l'art. 1. du préambule. Ainſi la vîteſſe du fardeau étant moindre que la vîteſſe du point extrême du rayon mené de l'axe du Cabeſtan à l'axe du cordage, on perdroit une partie de l'effort deſtiné à amener le fardeau. 3°. Le cordage ayant commencé à couler en travers de l'eſſieu, ne s'arrêtera peut-être pas lorſqu'on arrêtera le mouvement de la Machine; car dans cette circonſtance du mouvement commencé, la réaction parallele d'un eſſieu poli par le frottement continuel du cordage, ſeroit très-petite : ainſi on ſeroit en danger de perdre une partie de l'effort déja fait, à moins qu'on ne multipliât les ſpires du cordage, juſqu'au nombre de 8 ou 9, comme il réſulte du calcul donné pour exemple à la fin du §. 4. de l'art. 1. du préambule. Enfin le frottement du cordage ſur l'eſſieu conſumera le cordage; la durée de ce frottement ſera d'autant plus longue, que l'on aura augmenté le nombre des ſpires du cordage, &c.

§. III. Le ſecond moyen de rendre conſtante à l'égard des appuis la ſituation du cordage, c'eſt de faire avancer l'eſſieu ſur ſes appuis en ſens contraire, & autant que le cordage avance ſur lui. Les leviers moteurs de cette Machine devant changer continuellement de place, ce moyen n'eſt praticable qu'à l'égard de celles dont l'arbre eſt horiſontal, & convient peu à la manœuvre des vaiſſeaux; auſſi ne la propoſai-je que par occaſion; voici un cas où elle peut ſervir.

On tire l'eau des puits profonds dans un ſceau dont la corde ſe dévide autour d'un tourniquet : entre ces puits il y en a de très-étroits, & dont le diamétre eſt moindre que

la longueur neceſſaire au tourniquet ; enſorte que le ſceau étant au fond du puits, la corde & le ſceau heurtent un des côtés du puits, & le ſceau venant en haut frotte contre l'autre côté. On veut remédier à cela ſans groſſir l'eſſieu ; & d'ailleurs on veut faire deſcendre un ſceau pendant qu'un autre monte, ce qui exige une plus grande longueur d'eſſieu. On y réuſſira en faiſant avancer l'eſſieu du tourniquet ſur ſes appuis.

Pour cet effet, il faut pratiquer ſur l'eſſieu une canelure ſpirale, dont le pas ſoit égal au diamétre de la corde qu'elle doit recevoir, & dont la coupe ſoit un petit ſegment de cercle, *Fig.* 23. une canelure correſpondante étant faite ſur les ſoutiens *A*, *S*, il eſt évident que l'eſſieu tournera & avancera ſur eux en même-tems, ainſi qu'une vis le fait dans l'écroue. La réſiſtance que feront les appuis au mouvement ſpiral de l'eſſieu ne ſurpaſſera gueres celle qui s'oppoſeroit à ſon mouvement circulaire ; mais il faut avouer qu'elle eſt un peu plus grande que ſi l'eſſieu rouloit ſur des pivots d'un diamétre moindre que le ſien, & que le moment de la force motrice eſt auſſi moindre pour la vaincre ; c'eſt là le plus grand défaut de cette forme. L'intervalle des appuis *A*, *S*, ne doit pas exceder celui qui eſt neceſſaire pour laiſſer paſſer les deux bouts de la corde. Le levier moteur de la Machine étant hors des appuis, ce qui expoſe l'eſſieu à ſe renverſer, & l'appui *A* à être trop chargé, on peut faire dans l'eſſieu un trou où l'on plantera une broche de fer *B C*, qui portera ſur un troiſiéme appui, dont la diſtance au ſoutien *S* ſera égale à la longueur de l'eſſieu. *Fig.* 23.

§. IV. Lorſque le cordage fait moins d'une revolution ſur l'eſſieu, il eſt évident qu'il peut garder une ſituation conſtante à l'égard des appuis & de l'eſſieu lui-même. On peut remarquer cela en differentes Machines qui ſervent à élever les eaux, nommées *chapelets*, & *chaînes ſans fin*: on peut encore obſerver pareille choſe dans les poulies.

Mais le fardeau étant très-grand relativement à la force de l'homme qui bande le cordage en le developpant, on

ſuppoſe que l'eſſieu ne peut amener le cordage par ſon *action parallele*, ſi le cordage ne fait plus d'une revolution ſur lui. Cela étant, il faut diviſer la quantité neceſſaire de révolutions en pluſieurs parties moindres qu'une révolution entiére, & diſtribuer ces parties alternativement ſur deux eſſieux cylindriques paralleles, en tranſportant le cordage de l'un à l'autre, (à peu-près comme on diſtribue le cordage des moufles,) enſorte que la partie du cordage qui embraſſe l'eſſieu, ſoit dans un plan perpendiculaire à l'eſſieu, & que la partie qui eſt dans l'air entre les deux eſſieux leur ſoit oblique.

Fig. 24. 25. *Fig.* 26. 27. Cette diſtribution du cordage peut ſe faire en deux manieres. Les cercles *ABED*, *abed*, *Fig.* 24, 25. ſont les ſections de deux cylindres; *AEIX*, *aeix*, *Fig.* 26, & 27. ſont des ſections des mêmes cylindres paralleles à leurs axes *AX*, *ax*. Le cordage *PB* ayant paſſé entre les arbres, *Fig.* 24, 26, & s'étant roulé ſur le premier en *BED*, peut retourner entre les arbres, & ſe rouler ſur le ſecond en *bed*, revenir entre eux, & paſſer autour du premier en *FIG*, enſuite autour du ſecond en *fig*, &c. ou bien le cordage *PB* ayant embraſſé le premier arbre en *BED*, *Fig.* 25, 27. peut aller du même côté *Dd*, au ſecond arbre faire la demi-revolution *deb*, revenir du côté *bF*, pour paſſer ſur le premier arbre en *FIG*, retourner au ſecond en *gif*, de là au premier en *HOL*, &c.

Fig. 24. 26. *Fig.* 25. 27.

Dans la premiere diſpoſition du cordage, on obſervera que le cordage ſe croiſant en *C* entre les arbres & ne devant pas ſe toucher, ſes portions *BED*, *FIG*, *HOL*, ſont neceſſairement éloignées au moins de toute l'épaiſſeur du cordage, au lieu que dans la ſeconde les demi-révolutions *BED*, *FIG*, *HOL*, peuvent être fort proches, (on ne les a repréſentées comme elles ſont, que pour éviter la confuſion,) c'eſt pourquoi ſi *Db*, *Fig.* 24. eſt égale à *Dd*, *Fig.* 25. l'obliquité du cordage à l'égard de l'eſſieu eſt une fois plus grande dans la premiere diſpoſition que dans la ſeconde. Or quoiqu'on puiſſe faire garder au cordage ſa poſition *bed*

Fig. 24. *Fig.* 25.

dans un plan perpendiculaire à l'essieu, nonobstant son obliquité en *D b*, *d F*, on ne peut empêcher que cette obliquité ne cause un petit dechet sur l'énergie de la Machine ; ainsi la premiere disposition est inférieure en ce point à la seconde ; d'ailleurs le tronçon de l'essieu destiné à recevoir le cordage, doit être plus long dans celle-là que dans celle-ci, ce qui n'est pas indifférent.

Dans l'une & l'autre disposition du cordage, les essieux sont beaucoup plus chargés que n'est l'essieu unique du Cabestan vulgaire, parce que dans chaque passage le cordage les tire de deux côtés. Cette augmentation de charge mérite attention, soit par rapport au dechet que causent les frottemens, soit par rapport au danger de faire courber les essieux : or les essieux sont moins chargés dans la premiere disposition que dans la seconde pour trois raisons ; ainsi la premiere est en ce point préférable à celle-ci. 1°. Dans la premiere disposition le cordage fait sur chaque essieu une plus grande partie de revolution que dans la seconde ; il doit donc faire moins de passages sur l'essieu dans celle-là, & par consequent, &c. 2°. Le cordage *B P* étant tendu également par le poids, la partie *D b*, *Fig.* 24. est moins tendue que la partie *D d*, *Fig.* 25. & ainsi de suite. 3°. Les directions *B P*, *D b*, faisant un angle en *C*, *Fig.* 24. la charge résultant du concours des tensions de *B P* & *D b*, est moindre que la somme de ces tensions, au lieu que dans la *Fig.* 25. la charge composée des tensions de *B P* & *D d*, est à peu-près égale à leur somme. *Fig.* 24. *Fig.* 25. *Fig.* 24. *Fig.* 25.

Il est facile de calculer l'augmentation de la charge de nos essieux ; mais avant que de proposer un exemple de ce calcul, il faut fixer la maniere dont la force motrice doit être appliquée à la Machine ; car elle peut ou être appliquée à chaque essieu, (soit médiatement, soit immédiatement,) ou ne l'être qu'à un seul *A E I X* : dans le second cas l'essieu *a e i x* ne seroit point principe du mouvement du cordage ; au contraire, c'est de lui qu'il recevroit le sien ; il ne serviroit alors qu'à renvoyer le cordage sur le premier essieu ; ainsi

il ne faudroit comprendre dans le nombre de revolutions neceſſaire à l'action parallele pour amener le cordage, que celles qui ſe font ſur l'eſſieu *AEIX* unique moteur du cordage : le nombre des paſſages du cordage ſur chaque eſſieu ſeroit plus grand, & par conſéquent la charge des eſſieux ſeroit plus augmentée dans ce cas que dans le premier. Je ſuppoſe donc que la force motrice eſt appliquée à chaque eſſieu.

Soit le fardeau *M* centuple de la force *V* employée à bander le cordage par le manœuvre qui le développe, la charge de l'eſſieu du Cabeſtan vulgaire, ſeroit $M+V=$ 101, 000 : ſoient néceſſaires quatre révolutions. Dans la ſeconde diſpoſition du cordage, cette quantité doit être partagée en huit portions, parce que le cordage paſſera quatre fois ſur un eſſieu, & autant de fois ſur l'autre ; le cordage fera ſept trajets d'un eſſieu à l'autre, dans leſquels ſa tenſion ſera en progreſſion géométrique ſi les eſſieux ſont égaux ; c'eſt pourquoi je prens entre *M* & *V* ſept moyennes géométriques *N*, *O*, *P*, &c. au premier paſſage du cordage, le premier eſſieu ſera chargé de la quantité $M+N$; au premier paſſage ſur le deuxiéme eſſieu, celui-ci ſera chargé de la quantité $N+O$; au ſecond paſſage le premier eſſieu ſera chargé par la ſomme $O+P$, &c. ainſi le total de la charge du premier eſſieu ſera égal à la ſomme du fardeau & des ſept moyennes proportionnelles *N*, *O*, &c. la charge totale du ſecond ſera égal à la ſomme des ſept moyennes & de la force *V*. Je cherche les moyennes géométriques par leurs logarithmes.

Log. 2, 00,	$M=$	100, 000		*Log.* 1, 00,	$Q=$	10, 000
1, 75,	*N.*	56, 234		0, 75,	*R.*	5, 623
1, 50,	*O.*	31, 623		0, 50,	*S.*	3, 162
1, 25,	*P.*	17, 784		0, 25,	*T*	1, 778

La charge du premier eſſieu eſt 100, 000 + 126, 205, celle du ſecond eſt 126, 205, + 1, 000.

La même quantité de révolutions étant diviſée en ſix parties pour la premiere diſpoſition du cordage, il ne faut prendre

prendre que cinq moyennes proportionnelles entre *M* & *V*. J'ai trouvé par une opération, partie calcul, & partie construction méchanique, que la charge du premier essieu étoit seulement 164, 05, & celle du second, 76, 15.

Ce n'est pas un inconvénient, mais un avantage, à mon avis, relativement aux grands efforts qu'on fait quelquefois avec le Cabestan, que la combinaison de deux essieux à chacun desquels il convient d'appliquer la force motrice; car en réunissant pour ainsi dire deux Cabestans en un seul, elle donne lieu d'augmenter le nombre des manœuvres qui le servent. Considérons maintenant en détail différens moyens d'appliquer la force motrice à chaque essieu. Si on veut que les essieux soient éloignés, il est nécessaire de partager les Travailleurs en deux troupes, & d'en appliquer une aux barres que l'on mettra à chaque essieu. Pour faire ce partage on observera que les tensions du cordage entre chaque passage étant exprimées par les termes de la progression ∺ *M. N. O*, &c. la force nécessaire pour mouvoir le premier essieu, est à celle qui est requise au second (le reste étant égal) comme $M - N + O - P + Q$, &c. est à $N - O + P - Q +$ &c. c'est-à-dire, quand les passages du cordage sont en nombre pair, comme *M* est à *N*. Il faut mettre cette proportion entre les troupes de manœuvres, sinon il faudroit augmenter la quantité des révolutions du cordage. La troupe qui doit servir au second essieu étant moindre que celle qui est nécessaire au premier, on peut donner à celui-là moins de diamétre, & à ses barres moins de longueur qu'à celui-ci dans la même proportion où sont les troupes de manœuvres, qui auront ainsi autant d'espace avantageux l'une que l'autre pour se placer.

L'incommodité qui peut se trouver dans l'éloignement des essieux, c'est que les manœuvres sont obligés de passer deux fois à chaque tour par dessus plusieurs brins de cordage, ce qui nuit à l'effort qu'ils devroient faire; mais cette incommodité n'est pas considérable, si le cordage ne fait que trois révolutions au plus. Un autre défaut de l'éloigne-

ment des essieux, c'est qu'on ne peut remédier si aisément à l'augmentation du frottement causée par l'excès de la charge des essieux.

Si la sujettion du lieu destiné à loger le Cabestan, ou quelque autre raison, oblige à approcher les essieux, on observera d'abord qu'ils doivent être assez voisins pour que les manœuvres puissent les enfermer dans le cercle qu'ils décrivent autour du centre de leur mouvement La force motrice ne peut être appliquée en ce cas immédiatement à chaque essieu, sinon en mettant des barres aux bouts opposés *A*, *x*, ce qui est plus facile à faire à l'égard du virevau qu'à l'égard du Cabestan; je n'estime pas cependant que cela soit impossible, puisque le Cabestan vulgaire a des barres au-dessus & au dessous du pont.

Mais on peut appliquer la force motrice aux deux essieux, ou immédiatement à l'un,& médiatement à l'autre, ou médiatement à chacun. Dans la premiere disposition du cordage *Fig* 24. l'un des essieux étant garni de barres à l'ordinaire, on peut ajouter à chaque essieu une roue dentée, & faire engrener l'une dans l'autre ces roues, dont le diamétre doit être en même raison que celui des essieux, afin que le cordage aille de l'un à l'autre avec la même vîtesse; il est clair que cela est faisable dans cette disposition, parce que les essieux virent en sens contraire suivant l'ordre des lettres *B E D*, *b e d*.

Fig. 24.

Fig. 25.

Dans la seconde disposition du cordage *Fig.* 25. les essieux virent en même sens suivant l'ordre des lettres *B E D*, *d e b*; on peut mettre entre les deux arbres garnis chacun d'une roue dentée, un troisiéme arbre *CK* garni d'un pignon; & afin que les manœuvres enferment plus facilement les essieux principaux dans leur circuit, ce sera à ce troisiéme arbre qu'on mettra les barres. Je reserve à l'article 5, à montrer que dans cette disposition d'essieux on peut rendre le frottement égal & moindre même que celui du Cabestan vulgaire.

§. V. Je n'ai point encore déterminé la quantité de revolutions que le cordage doit faire autour des essieux, & c'est ce-

qu'il s'agit de faire maintenant. J'ai déja dit que le fardeau étant centuple du contrepoids, il faudroit que le cordage fît au moins cinq revolutions ; mais il est important qu'il en fasse moins pour plusieurs raisons dispersées dans cet écrit, & faciles à rassembler.

On ne peut parvenir à diminuer la quantité des revolutions du cordage, sans augmenter le rapport de l'action parallele exercée par l'essieu sur le cordage à la force centrale. Or cette action parallele ne peut exceder certain rapport à la pression perpendiculaire de la surface qui touche la corde; il reste donc qu'on fasse la pression perpendiculaire différente de la force centrale, & plus grande qu'elle. En voici un premier moyen dont l'exposition éclaircira ce que je viens de dire, (on a un modéle de ce moyen dans le petit essieu de bois, dont les broches de cuisine sont garnies,) outre la diminution du nombre des revolutions que ce moyen procure, il sert encore à empêcher que l'obliquité des portions du cordage qui sont hors des essieux, ne les fasse envelopper obliquement sur l'essieu. (Je fais abstraction de cette obliquité dans les calculs suivans.)

Ce moyen consiste à former autour de l'essieu autant de canelures que le cordage y doit faire de passages, lesquelles soient éloignées autant que la solidité necessaire à la Machine, & que la disposition du cordage l'exigeront, dont la section *ABba*, *Fig.* 28. soit un trapeze tronqué du triangle isoscele *ACa*, & qui soient telles que le cordage puisse porter sur leurs côtés *AB*, *ab*, sans jamais toucher à leur fond *Bb*. J'ai déja montré art. 1. §. 2. du préambule, qu'un canal *ACa*, *Fig.* 4. mû suivant *HG*, avoit une force capable d'entraîner avec lui un corps rond tiré directement en sens contraire avec une force *OF*, & poussé outre cela vers le fond du canal par une force *OG*; c'est *OG*, que j'ai nommé ensuite force centrale ; *OP* est la pression perpendiculaire de l'un des côtés du canal. Il faut à present déterminer le rapport des côtés du triangle *ACa*; je vais le faire dans cet exemple.

Fig. 28.

Fig. 4.

Le fardeau eſt centuple du contrepoids, on veut que le cordage faſſe ſeulement trois revolutions; je trouve dans la 2e Table du § 4. de l'art. 1. du préambule, que l'action parallele ou la difference de tenſion, c'eſt à-dire *HG*, *Fig.* 4. doit être à la force centrale, c'eſt-à-dire *OG*, comme 1 eſt à 4, 09477578. L'action *HG* eſt double de l'action parallele *RP*, exercée par l'un des côtés; ainſi *OG* doit être à *RP*, comme 8, 18955156, eſt à 1. Or on a obſervé §. 4. du 1. art. du préambule, que la médiocre action parallele *RP* exercée par le bois, n'étoit à la preſſion perpendiculaire *OP*, que comme 1 eſt à 7, 0626. Donc *OG* doit être à *OP*, & *Aa* à *AC*, comme 8, 1896, eſt à 7, 0626.

Fig. 4.

Plus le triangle *ACa* feroit aigu, moins il faudroit de revolutions; mais je ne conſeille pas de faire le côté *AC* beaucoup plus long que la baſe *Aa*, à cauſe des inconvéniens où l'on tomberoit, dont il ſuffit d'expliquer une partie; ſçavoir, que la compreſſion *PO* ſe faiſant de chaque côté du canal, & devenant très-grande par l'augmentation de *AC*, à meſure que le cordage en abordant la canelure reſſentiroit cette double compreſſion, il y cederoit en s'applatiſſant un peu, & prendroit ainſi un petit mouvement de deſcente vers le fond du canal: ce mouvement changeroit la direction de la réaction parallele, & l'empêcheroit d'être oppoſée directement à l'effort émané du fardeau: le frottement offenſeroit le cordage, & poliroit les côtés du canal; enſorte que leur capacité de réagir parallelement diminueroit. Si le riſque de gâter le cordage eſt bien grand, on peut négliger ce premier moyen de diminuer le nombre des révolutions du cordage, & employer le ſuivant.

§. VI. Ce moyen conſiſte en partie à ne pas faire porter le cordage immédiatement ſur le bois des eſſieux, mais ſur des matiéres dont l'action parallele ſoit plus grande que celle du bois, tel eſt le cuir doux, le feutre, &c. ces matiéres étant fléxibles & capables de ſe mouler ſur le cordage, reçoivent les inégalités qui s'y trouvent, & lui adherent plus fortement.

J'ai revêtu un rouleau d'une vieille peau de bazane séche & mince; un cordeau bandé par un poids de 9 liv. $\frac{1}{2}$ & par un contrepoids de 20 onces, lequel faisoit une révolution & demie autour de ce rouleau, étant mis en mouvement, ne continuoit qu'à peine à glisser sur la peau. J'en ai conclu que le moindre rapport de l'action parallele de la peau à la pression perpendiculaire, étoit comme 1 à 4, 6466. Le même cordeau ayant été fixé quelques instans, le même poids de 9 liv. $\frac{1}{2}$ ne pouvoit entraîner le contrepoids réduit à 4 onces; j'en ai inferé que l'action parallele étoit alors à la pression perpendiculaire, environ comme 1 à 2, 6. Enfin lorsque je tournois le rouleau pour élever le poids, un contrepoids de 12 onces bandoit toujours assez le cordeau pour l'empêcher de glisser sur le rouleau; un contrepoids de 10 onces ne suffisoit pour cet effet, que quand je tournois le rouleau fort lentement: la médiocre action parallele étoit dans le premier cas à la pression perpendiculaire, comme 1 à 3, 7117; dans le second, comme 1 à 3, 4634: on peut prendre un milieu, & la faire comme 1 à 3, 6.

A s'en tenir là, il résulte de ces observations & du calcul enseigné §. 4. de l'art. 1. du préambule, qu'un cordage étant bandé du côté qu'on le développe avec une force cent quatre-vingt-sept fois moindre que le fardeau, on n'auroit besoin que de trois revolutions de ce cordage sur des essieux garnis des matiéres dénommées, pour amener certainement le cordage & le fardeau; si l'on bande le cordage avec une force égale à $\frac{1}{78}$ du fardeau, deux révolutions & demie suffiront pour le faire obéir aux essieux.

Mais on peut faire encore plus: on formera autour des essieux deux ou trois canelures, dont la section soit un parallelogramme *MN nm*, *Fig.* 29. on attachera sur les bords *M*, *m*, un ou plusieurs cuirs forts, qui se courbant en *KAk*, feront une canelure demi-ronde, dont la face convexe ne doit que peu ou point toucher les faces de la canelure quarrée *MN nm*, & dont la face concave *KAk* *Fig.* 29.

fera garnie de cuir doux, ou de vieux chapeaux; un cordage dont le diamétre soit un peu moindre que Kk, étant placé dans cette canelure, chacun des côtés de la canelure sera tiré & bandé par la moitié de la force centrale OG. Cette force $\frac{1}{2}\ OG$ est à la somme des compressions perpendiculaires, que la canelure est capable d'exercer sur le cordage, comme le rayon est à la demi-circonférence par le §. 3. de l'art. 1. du préambule; d'où il suit que la somme des compressions perpendiculaires, sera environ $\frac{3}{2}$ de OG. On a trouvé ci-dessus que la médiocre action parallele, étoit à la pression perpendiculaire comme 1 à 3, 6; donc la somme HG des actions paralleles que la canelure exercera sur le cordage, sera à la force centrale OG, environ comme 1 à 2, 4. Ainsi deux révolutions & demie du cordage suffiront pour l'amener, & avec lui un fardeau qui seroit six cens quatre-vingt-cinq fois plus grand que la force avec laquelle on bande le cordage en le développant. Deux révolutions suffiront pour amener un fardeau cent quatre-vingt-huit fois plus grand que la même force.

Je crois qu'il est possible que le canal de cuir ait la fermeté nécessaire pour soutenir le cordage sans se rompre & sans céder. Soit le rayon de l'essieu du Cabestan de vingt-cinq pouces, une tranche du canal d'un pouce de largeur prise du côté le plus chargé, ne doit soutenir qu'un poids OG de quatre cens livres si le fardeau est de dix mille livres, & chacun des bouts de cette tranche sera bandé avec une force de deux cens livres.

Un avantage particulier de cette construction, c'est que le canal de cuir peut servir à des cordages de différentes grosseurs sans que le fardeau les fasse échapper; car si les petits cordages ne sont pas comprimés par la canelure dans leur demi-circonférence, en récompense chacun des côtés de la canelure est bandé par une force plus grande que la moitié de OG; d'ailleurs il n'est pas nécessaire de produire sur les moindres cordages une action parallele aussi grande que sur les gros, ceux-là étant naturellement destinés à traîner les moindres fardeaux.

§. VII. J'avois crû que s'il y a assez de place sur certains vaisseaux pour y loger deux Cabestans, il y en a assez pour y loger deux essieux; d'ailleurs les essieux pouvant être si proches, que les manœuvres les enferment dans leur circuit, il me sembloit qu'on pouvoit les situer dans le même lieu qu'occupe un seul Cabestan vulgaire. Mais l'ami dont j'ai déja parlé, que j'ai prié de s'informer de ce qui concerne le Cabestan pour m'en instruire, & à qui j'ai communiqué ma pensée de doubler l'essieu, m'a mandé que ce projet seroit difficile, & peut-être impossible à exécuter, à cause de la petitesse & de la contrainte du lieu où l'on assuroit que le Cabestan est situé dans les vaisseaux. Cette objection dont je ne saurois bien juger faute d'avoir vû un vaisseau de mes propres yeux, m'a fait penser aux moyens capables de retenir un cordage dans un seul passage sur l'essieu, lequel soit moindre qu'une révolution; il est facile d'en imaginer quelques-uns sur le modéle de ces Machines mentionnées ci-dessus, dont la chaîne ne passe qu'une fois sur l'essieu; mais un cordage souffriroit trop de frottement, si l'on employoit de tels moyens.

En voici un qui n'offensera pas beaucoup le cordage; mais il est moins simple que celui de la duplication de l'essieu. *KAC*, *Fig.* 30. est la section perpendiculaire d'une ceinture capable d'embrasser les trois quarts ou environ d'un cordage déterminé; cette ceinture composée d'autant de bandes de cuir fort, qu'il est nécessaire pour résister à la tension marquée ci-dessous, & revêtue dans l'intérieur de cuir doux ou de feutre, peut avoir environ deux pouces de largeur. Elle est repliée & fermement attachée sur les faces *IL*, *il* des barres très-solides *KILM*, *Cilm* situées dans le plan *KAC* qui passe par l'axe *XE* de l'arbre, & appuyées sur l'arbre en *LM*, *lm* sur un bout arrondi, ensorte qu'elles puissent tourner autour de ce bout, afin que la ceinture s'ouvre autant qu'il faut pour recevoir & laisser sortir le cordage: un ressort doux, placé sous chaque barre ou dans la ceinture même, donne ce jeu de dilatation à la ceinture. Dans *Fig.* 30.

la systole de la ceinture, les barres sont paralleles aux côtés *O D*, *o d* du rhombe *ODGg*, tel que *o D* est à *o G*, comme huit à six. La ceinture est garnie, vis-à-vis de son centre, de deux espéces d'oreilles, qui s'appuyent ainsi que les barres sur des clavettes fichées dans l'arbre, desquelles elles reçoivent l'effort perpendiculaire au plan *KAC*, nécessaire pour amener le cordage. L'arbre est formé par la révolution de la figure *LMNGnml* autour de l'axe *XE*, & garni dans toute sa circonférence de barres portant des ceintures contiguës, semblables à celle qui vient d'être décrite, lesquelles forment ensemble une espéce de canal dans lequel passe le cordage.

Voyons maintenant ce qui doit arriver quand on tournera cet arbre. Il est évident que le cordage venant à rencontrer le fond d'une ceinture, la poussera vers l'axe par sa force centrale & s'y enfermera. Soit cette force $= 7\frac{1}{3}$; alors chacune des barres sera poussée & repoussera avec une force parallele à elle-même, qui sera à une certaine partie de la force centrale, sçavoir six, comme le côté *o D* du parallélogramme est à sa diagonale *o G*, c'est-à-dire, par la construction, comme huit est à six, ou simplement comme huit. La force impulsive de chaque barre se décomposera en deux autres, l'une perpendiculaire à la ceinture, & l'autre parallele à sa tangente. La premiere, qui comprimera la ceinture en *KV*, & médiatement le cordage, est dans la construction proposée, environ égale à la moitié de la force impulsive de la barre, & par conséquent vaut quatre. La seconde force servira à bander la ceinture, & sera à la force impulsive environ comme sept à huit. Or l'*action parallele* de la ceinture sur le cordage, ne peut devenir perpendiculaire au plan *KAC*, que la force qui bande la ceinture ne soit à la compression perpendiculaire que la ceinture opérera sur le cordage, comme le rayon est à l'arc *KAC*, c'est-à-dire, environ comme sept à trente-deux; d'où il résulte que la compression totale du cordage émanée de la force impulsive des barres, peut valoir jusqu'à

qu'à environ quarante. Il nous reste une partie de la force centrale dont il faut montrer l'emploi.

Si les clavettes fichées dans l'arbre sont dans un plan qui passe par l'axe, elles ne transmettent pas sur les oreilles annexées à la ceinture, un effort précisément perpendiculaire au plan *KAC* de la ceinture, mais un effort qui lui est un peu oblique, & qu'il faut décomposer en deux, l'un perpendiculaire au plan *KAC*, & égal à la somme *HG* des actions paralleles, l'autre parallele au plan *KAC* égal & opposé à la partie de la force centrale qui reste, sçavoir à $1\frac{1}{3}$. Cette derniere partie sert encore à bander la ceinture dans l'intervalle d'une oreille à l'autre, & la compression perpendiculaire que le cordage en reçoit, vaut environ deux; ainsi toute la compression perpendiculaire du cordage peut valoir quarante-deux. Or l'action parallele médiocre des matieres qui touchent le cordage, est à la compression perpendiculaire comme 1 est à 3, 6. Elle vaut donc dans notre cas $11\frac{2}{3}$; la force centrale étant $7\frac{1}{3}$, elles sont l'une à l'autre comme 35 est à 22, comme 1 est à $\frac{22}{35}$ = 0, 628571428; d'où il suit (& du §. 4. art. 1. du préambule) à cause du voisinage des ceintures qui les rend presque équivalentes à un canal continu, que si le cordage fait autour de l'arbre $\frac{22}{35}$ d'une révolution, un fardeau cinq cens-trente sept fois plus grand que le contrepoids pourra être amené par le Cabestan. Si le cordage ne faisoit qu'une demi-révolution sur l'arbre, je trouve 2, 1714767 pour le logarithme du fardeau qui sera 148, 4 fois plus grand que le contrepoids. Un avantage de cette construction, c'est que si le manœuvre qui bande le cordage en le développant se sentoit prêt à être vaincu, il peut tout à coup augmenter la quantité de la révolution du cordage sur l'essieu, & l'empêcher ainsi de s'en détacher.

Il est facile de reconnoître ce qu'il y a d'arbitraire dans la construction proposée, & qui peut être changé sans préjudice, ou même à l'avantage de l'effet désiré. La principale attention que l'on doit avoir, est d'empêcher l'ex-

tenſion de la ceinture ; on pourroit dans cette vue la compoſer d'une chaîne plate. Il faut auſſi faire aux clavettes un petit cran qui retiendra les barres ou les oreilles, pour empêcher la ceinture de ſe trop ouvrir.

§. VII. J'ai dit que les ceintures attachées aux barres dont l'arbre eſt revêtu, étoient contiguës ; il y a ſur cela une petite remarque à faire. J'ai trouvé par le calcul que le diamétre de la ceinture dans ſa ſyſtole *KAC*, *Fig. 31.* eſt à ſon diamétre dans ſa diaſtole *kac* environ comme 200 à 228, & que l'arc *kac* eſt égal environ à 2 × (90^{d}. + 28^{d}. 34′) la perpendiculaire *AB* ſur *KC*, eſt à celle *ab* ſur *kc* comme 1707 à 1685. Les barres étant priſes d'une longueur médiocre, & le diamétre du cordage étant ſuppoſé de ſix pouces huit lignes, j'ai trouvé méchaniquement que la différence *Aa* des diſtances du fond de la ceinture à l'axe dans ſa *ſyſtole* & dans ſa *diaſtole*, étoit environ d'un pouce & demi ; d'où il ſuit que cette diſtance étant ſuppoſée d'un pied & demi, les ceintures voiſines qui ſeroient contiguës dans leur ſyſtole, ſeroient éloignées d'environ une ligne dans leur diaſtole. Les ceintures qui paſſeront de la diaſtole à la ſyſtole, ſeront encore plus éloignées l'une de l'autre. On peut craindre que cet écartement & le rapprochement qui ſe fait enſuite, ne ſoit nuiſible au cordage ; mais j'eſtime au contraire qu'il eſt utile, en ce qu'il permet au cordage qui ſe courbe en ſe dévidant, de s'accourcir dans ſa partie concave, pendant qu'il eſt contraint de s'allonger dans ſa partie convexe.

Fig. 31.

ARTICLE III.

Sur l'uſage de la Tournevire.

La Tournevire eſt un cordage médiocre que l'on dévide ſur l'eſſieu du Cabeſtan, & garni de nœuds aſſez proches auſquels eſt ſaiſie ſucceſſivement avec des *garcettes* une certaine longueur du cordage amarré à l'ancre, lequel eſt beaucoup plus gros que la Tournevire. Quelques Matelots

dénouent les garcettes du côté que la Tournevire s'enveloppe, & d'autres en substituent de nouvelles du côté que le cordage sort de l'eau. Ce seroit presque en vain que l'on auroit trouvé des moyens de rendre le jeu du Cabestan perpétuel, si la médiation de la tournevire étoit d'une nécessité absolue pour amener le cordage. Car outre que les nœuds de la tournevire s'accordent peu avec les moyens proposés, j'ai peine à croire que les Matelots soient aussi prompts qu'on le dit à lier & délier les garcettes, & que cette opération n'oblige pas à rallentir le mouvement de la machine. Il est vrai au moins que ceux qui la font, pourroient servir utilement ailleurs ; ainsi il y auroit quelque chose à gagner à ne point employer la Tournevire. Voyons donc s'il est possible de s'en passer.

Les raisons de l'usage qu'on en fait, sont, à ce qu'on m'a mandé, 1°. la roideur du gros cordage de l'ancre causée tant par sa grosseur que par le gaudron dont il est plein, laquelle empêche qu'il ne se roule aisément sur l'arbre. 2°. Le danger de froisser le cordage sur l'essieu. Je crois qu'il y en a une troisiéme ; sçavoir, que le cordage ayant jusqu'à six pouces de diamétre, les révolutions qu'il feroit sur l'essieu, couvriroient une grande partie de sa longueur, & il auroit si peu d'espace à parcourir en se dévidant, qu'il faudroit choquer à chaque instant.

La derniere raison cesse si on dévide sans fin le cordage au même lieu, de quelque maniere que ce soit qu'on l'exécute.

Le seconde raison n'est considérable qu'en supposant que l'essieu est revêtu de taquets ; mais on peut & on doit retrancher leur partie qui régne au long de l'essieu, & ne conserver que celle qui recevant les *élinguets*, sert à fixer l'essieu & à donner du relâche aux manœuvres. C'est en partie à dessein d'éviter le froissement & d'empêcher les mauvais effets du frottement du cordage, que j'ai proposé de le loger dans des canaux ou ceintures revêtues de matieres mollasses : je compte que le cordage n'en recevra

pas plus d'atteinte (je pourrois dire qu'il en recevra moins) qu'il n'en souffre de sa jonction à la tournevire, de son passage sur les écubiers, &c.

La raison qui subsiste pour obliger à employer la tournevire, c'est celle tirée de la roideur du cordage, & du risque de le gâter en le courbant; car cette raison se subdivise ainsi que je vais l'expliquer, afin qu'on en juge mieux. Quand on courbe un cordage, sa partie concave doit s'accourcir, & la convexe s'allonger; mais cet accourcissement & cet allongement ne sont pas semblables à ceux que souffriroit un bâton dont les fibres sont paralleles; car les brins dont le cordage est composé étant spiraux, ensorte que le même brin se trouve alternativement dans la partie concave, & dans la partie convexe du cordage courbé, la portion du brin qui est dans le côté convexe, ne souffre pas une extension de ses fibres aussi grande que celle que reçoit ce côté considéré comme un tout; & la portion qui est dans le côté concave, ne s'accourcit pas non plus autant que ce côté, mais celle-ci est forcée de prêter quelque chose à l'autre, ce qui ne peut se faire sans un mouvement sourd des parties internes du cordage. Or ce mouvement brise le gaudron, & réciproquement le gaudron, ainsi que l'adhésion des brins causée par la traction du fardeau, empêchent ce mouvement d'être aussi grand qu'il seroit nécessaire pour que les brins ne s'allongeassent ni ne s'accourcissent aucunement. Il faut donc pour courber un cordage roide, une force capable de donner à ses brins l'extension dont ils ont besoin dans leur portion qui est dans le côté convexe, & cette force est toujours perdue sur l'effet désiré, qui est le transport d'un fardeau. *Fig. 32.* *baAD* est un cordage roulé autour d'un cylindre. *DAd* est un cercle qui a pour circonférence la ligne moyenne de la portion de cordage roulée. Si quelque force est nécessaire pour courber le cordage, l'axe *ab* de sa portion étendue en droite ligne, n'est pas une tangente du cercle *DAd*; mais elle en doit être éloignée plus ou

moins, ſuivant que la force néceſſaire pour courber le cordage eſt grande ou petite Comme *Ca* diſtance du centre du cylindre à l'axe *ab*, eſt à la différence *Ca* — *CA*, ainſi la force qui fait équilibre avec le fardeau qui bande le cordage, eſt à la partie de cette force employée à courber le cordage. Autant de fois le cordage paſſe de la ſituation droite à la ſituation courbe, autant il faut de ſurcroîts de force ſemblables à celui que je viens d'aſſigner. C'eſt un des inconvéniens de la duplication des eſſieux, dont je ſuis bien aiſe d'avertir. On obſervera que le cordage ne touche pas le cylindre auſſi-tôt qu'il paſſe à l'état de courbure; mais il y a quelque eſpace *fg* qui n'eſt pas couvert ni comprimé, quoiqu'il ſemble l'être. J'ai négligé de faire état de cet eſpace dans les calculs de l'article précédent.

Je n'examinerai point ici s'il y auroit une ſtructure du cordage avantageuſe pour ſon roulement ſur l'eſſieu du Cabeſtan; mais je me reſtrains à dire qu'on diminuera les inconvéniens cauſés par la roideur du cordage, ſi on le dévide ſur un arbre plus gros que l'ordinaire: or ſi on veut doubler les arbres, & pratiquer la diſpoſition du cordage repréſentée, *Fig.* 25. & 27. il eſt poſſible, (je parle en général) d'employer de gros arbres, ou plutôt des tambours (*peritrochia*,) ſans augmenter la force motrice, ni le rayon auquel elle eſt appliquée, parce que l'on augmentera le diamétre de la roue dentée que portent les arbres à proportion qu'on les augmentera eux-mêmes; ainſi il n'y a aucun changement à faire à l'arbre mitoyen. *Fig.* 25. 27.

Le deſſein de parer les mauvais effets de la roideur du cordage, n'eſt pas le ſeul motif qui doit exciter à employer de gros arbres; leur groſſeur a encore d'autres avantages. 1°. Plus l'arbre ſera gros, moindre ſera la charge des canaux, & la compreſſion perpendiculaire du cordage dans une étendue donnée. 2°. Plus auſſi ſera long le ſejour du cordage ſur la partie à laquelle il ſera appliqué, ce qui ſert à augmenter l'action parallele, & à empêcher d'autant plus ſurement le cordage de s'échapper en gliſſant. Enfin la ré-

ſiſtance parallele des appuis des arbres au mouvement de leurs pivots, requiert un moindre ſurcroît de force motrice pour être vaincue.

Si la groſſeur du cordage de l'ancre empêche abſolument de le dévider ſur le Cabeſtan, on pourroit choiſir entre l'un de ces moyens.

Le premier ſeroit d'amarrer à l'ancre deux cordages également longs, mais inégaux en groſſeur, qui conjointement aſſureroient le vaiſſeau contre les coups de mer, & dont le moindre qui ſeroit égal à la tournevire ordinaire, ſerviroit à amener le gros cordage avec l'ancre : ces deux cordages ſeroient joints d'eſpace en eſpace avec des nœuds de corde aſſez lâches, que l'on délieroit à meſure qu'ils ſe préſenteroient.

L'autre moyen ſeroit d'imiter avec les deux bouts de la tournevire l'action d'un homme qui tire une corde par l'action alternative de ſes bras : on placeroit le Cabeſtan ſur l'arriére du vaiſſeau; on attacheroit au cordage de l'ancre à des intervalles égaux à la diſtance du Cabeſtan à l'avant du vaiſſeau, de fortes boucles ou anneaux de corde; on armeroit d'un bon crochet chaque bout d'une tournevire, qui ſeroit plus longue que l'intervalle des boucles du cordage, de la quantité requiſe pour former les révolutions néceſſaires de la tournevire ſur l'eſſieu; un des bouts de cette tournevire étant roulé ſur un des bouts de l'eſſieu du Cabeſtan, on ſaiſiroit le cordage avec le crochet annexé à l'autre extrémité de la tournevire, & on l'ameneroit auſſi près du Cabeſtan qu'il ſeroit poſſible; pendant ce mouvement, l'autre bout de la tournevire ſe développeroit, & on le porteroit ſur l'avant pour accrocher la boucle ſuivante du cordage: alors on vireroit le Cabeſtan en ſens contraire du mouvement précédent; la partie de la tournevire répondante au premier crochet, ſe développeroit à ſon tour, & étant dégagée de la premiere boucle du cordage, ſeroit tranſportée ſur l'avant du vaiſſeau, pour y ſaiſir une troiſiéme boucle : alors on vireroit le Cabeſtan dans le premier ſens, &c. & ainſi de ſuite; un

des crochets de la tournevire ameneroit le cordage, & feroit alternativement porté fur l'avant du vaiffeau, cependant la tournevire monteroit & defcendroit alternativement fur l'effieu.

En fe fervant ainfi la de tournevire, il feroit fuperflu de mettre des élinguets autour de l'effieu pour l'arrêter; car fi on en avoit befoin, on pourroit le faire lorfque les deux bouts de la tournevire feroient accrochés au cordage. Au refte, il eft fenfible que l'interruption du mouvement qui fe feroit à chaque mutation pourroit être fort courte.

Article IV.

Touchant l'inégalité des efforts qu'on eft obligé de faire avec le Cabeftan.

Le Cabeftan fert à lever des ancres & autres fardeaux de poids très-différens, & lorfqu'on leve l'ancre, il faut plus d'effort pour la détacher du fond, que pour l'amener en haut, après qu'elle eft détachée : or fi on étoit réduit à n'avoir qu'un feul Cabeftan de forme vulgaire pour produire les différens efforts, je dis que l'effet ne feroit que rarement un *maximum*.

Suppofons que l'effet étoit un *maximum*, lorfqu'un certain nombre d'hommes, dont la moyenne diftance du centre du Cabeftan étoit D, & qui rempliffoient tout l'efpace avantageux E, appartenant à cette diftance, amenoit un certain fardeau F: s'il s'agit d'amener enfuite un autre fardeau f, qui foit, par exemple, moitié du premier; ou on diminuera le nombre des travailleurs, & dans ce cas, quoique l'effet puiffe être encore un *maximum* relativement au nombre reftant de manœuvres, il ne fera pas tel par rapport au total de la force qu'on pouvoit employer : ou on les gardera tous dans ce cas, afin que l'effet fût un *maximum*, il faudroit que le fardeau f reçût une vîteffe double de celle avec laquelle F a été tranfporté, & partant il faudroit que la vîteffe an-

gulaire du Cabeſtan fût doublée : or cela eſt impoſſible, car ſi on laiſſe les manœuvres à leur premiere diſtance *D* du centre, il faudroit qu'ils marchaſſent une fois plus vîte que la premiere fois, & qu'ils fiſſent en même - tems un effort ſoudouble de celui qu'ils faiſoient pour amener le fardeau *F*; mais c'eſt ce qu'ils ne peuvent faire, ainſi qu'il réſulte de l'art. 1. §. 2. & de l'hypothéſe, que le tranſport du fardeau *F* étoit un *maximum*. Il ſuit du même article que pour obtenir le *maximum* deſiré, ils devroient marcher avec la même vîteſſe abſolue que la premiere fois, & par conſéquent s'approcher une fois davantage du centre du Cabeſtan ; mais ils ne peuvent le faire ſans préjudice de l'effet ; parce qu'ils ne peuvent ſe placer tous dans le lieu avantageux qui appartient à cette diſtance diminuée, puiſqu'il n'eſt que moitié de celui *E*, qu'ils empliſſoient la premiere fois.

Si au contraire le fardeau *f* eſt plus grand que le fardeau *F*, on peut bien avoir un *maximum* en diminuant la vîteſſe angulaire de la Machine, & en éloignant les manœuvres de ſon centre ; mais alors ils ne rempliront pas tout l'eſpace avantageux de leur diſtance augmentée, ce qui feroit un défaut d'une autre eſpéce, conſiſtant en ce que la Machine auroit plus de volume qu'il n'eſt abſolument neceſſaire, & que ſon arbre ſeroit trop gros par rapport au grand fardeau *f*.

Puiſqu'il eſt de l'intérêt des Navigateurs de ménager le tems dans pluſieurs occaſions, ils doivent accélerer le plus qu'ils peuvent le tranſport des fardeaux, & par conſéquent ne rien (ou très-peu) retrancher de la force motrice qu'ils ont dans leur diſpoſition : le ſeul moyen qu'ils ont dans ces circonſtances pour obtenir le *maximum*, & pour obſerver les proportions réquiſes à cet effet, c'eſt de faire le rayon de l'arbre en raiſon à peu-près réciproque au fardeau qu'ils veulent amener. Or le jeu d'un Cabeſtan étant rendu perpétuel, cela ſe peut faire directement, ou par équivalent.

En premier lieu on pourroit faire ſur l'arbre ou ſur les deux arbres, dans la hauteur égale à celle des eſſieux vulgaires,

gaires, trois ou quatre étages de diamétre différens : on dévideroit sur le gros bout les cordages servants aux moindres fardeaux, & sur le bout opposé, ceux qui servent aux plus grands, &c. On apperçoit sans doute que cette distribution des cordages qui est utile pour donner plus de vîtesse aux moindres fardeaux, a l'inconvénient d'être contraire à l'ordre naturel, eu égard à la différente grosseur des cordages; car cet ordre demanderoit que les plus gros, (c'est-à-dire, ceux qui servent aux plus grands fardeaux) fussent dévidés la plus grosse portion de l'essieu.

On évitera cet inconvénient dans la disposition des arbres & du cordage des *Figures* 25. & 27. en faisant virer les deux gros arbres *ABED*, *abed*, à l'aide d'un arbre mitoyen, auquel soient ajustés des pignons de différens diamétres. Si on prend cet équivalent, les arbres ou tambours *ABED*, *abed*, pourront être fort courts, & occuper très-peu de place, ensorte qu'on aura la commodité de mettre des barres à chaque bout de l'arbre mitoyen, ce qui est avantageux ou pour loger un grand nombre de travailleurs, ou pour donner moins de longueur aux barres, & de grosseur aux pignons de l'arbre mitoyen. *Fig.* 25. 27.

Article Dernier.

Sur la résistance que les appuis du Cabestan font au virement de ses pivots.

Si la réaction parallele est utile pour arrêter les corps les uns sur les autres; si par exemple elle fixe le cordage sur l'essieu du Cabestan, & si elle affermit les pieds des hommes & des animaux qui meuvent les Machines & les voitures; en récompense elle nuit au mouvement rélatif des corps, & consume en pure perte une partie notable de la force motrice des Machines. J'ai cherché les moyens de l'augmenter, & d'en profiter dans ce qu'elle a de bon; je vais maintenant essayer d'éviter, ou au moins de diminuer, ce qu'elle a de mauvais.

La grandeur de la force consumée par la résistance parallele ou frottement des Machines, dépend en partie de la grandeur de la charge des appuis; j'ai déja fait quelques observations sur ce sujet dans le premier article, & je n'en répéterai rien ici. J'ajoute seulement qu'il y a une contrarieté au sujet de la grosseur des pivots : lorsque la direction du fardeau est plus voisine d'un pivot que de l'autre, la solidité de la Machine demanderoit que ce pivot fût plus gros que l'autre; mais l'intérêt de ménager la force motrice exigeroit au contraire que ce pivot fût plus petit: il est certain qu'il faut avoir égard par préférence à la solidité; supposons donc qu'on fait tourner une Machine sur un pivot fort gros: voici un reméde contre l'excès de la résistance que souffre ce pivot.

Fig. 33. Le cercle *DAB*, *Fig.* 33. est la section d'un gros pivot, le cercle *Dab* est la section d'un cylindre dont la longueur est égale à celle du pivot, & dont le diamétre est arbitraire; ce cylindre porte, & peut tourner sur deux tourillons, dont le cercle *PRE* est la projection; la droite *DRE* est la projection du plan dans lequel est la direction de la charge du pivot *AB*; ce plan rencontre obliquement la surface du tourillon en *E*, ensorte que l'angle *PER* est égal à l'angle du même nom de la Figure premiere; ce plan passe par *D* le lieu du contact des deux cylindres, & rencontre moins obliquement la surface du pivot *DAB*, qu'il ne fait celle du tourillon *PRE*. Lorsqu'on fera tourner le pivot *DAB*, je dis qu'il ne glissera pas sur le cylindre *Dab*; mais qu'il l'entraînera, & le contraindra de tourner sur son tourillon *PRE*. (J'en omets la preuve, parce que je suis pressé par l'approche du terme fatal.)

Or si le pivot de la Machine étoit contraint de glisser à l'ordinaire sur un corps fixe en *e*, la charge de ce pivot seroit dirigée suivant *re*, à peu-près parallele à *DRE*, & feroit avec le rayon *Ce* un certain angle *per*. Je dis d'abord que cet angle seroit plus grand que l'angle *PER*, parce que la vîtesse angulaire de la Machine étant supposée égale dans

les deux cas, la vîteſſe relative du pivot *D A B* ſur un point fixe *e*, ſeroit plus grande que celle du tourillon *P R E* ſur ſon appui, & partant la réaction parallele que ſouffriroit le pivot *D A B*, ſeroit plus grande que celle que ſouffre le tourillon du cylindre, &c. En ſecond lieu, en ſuppoſant que les angles *p e r*, *P E R*, ſont égaux, je dis que la diſtance de la charge *D R E* au centre *C*, eſt à peu-près à la diſtance de *r e* au même centre, comme le rayon *K E* du tourillon eſt au rayon *K D* du cylindre; ainſi la puiſſance motrice a un moment plus grand pour mouvoir le pivot ſur le cylindre mobile, que pour le mouvoir ſur un point fixe, &c.

Pour ſituer le cylindre ſous le pivot, il faut connoître à peu-près la direction de la charge du pivot, l'article 2. du préambule enſeigne ce qu'il y a à faire pour la trouver; pour empêcher le pivot de s'échapper de deſſus le cylindre, il faut mettre à ſes côtés *A*, *B* deux appuis fixes qui porteront, en cas de beſoin, la force qui pourroit faire échapper le pivot de côté ou d'autre.

La direction du cordage qui ſe dévide ſur le Cabeſtan, ne fait pas toujours le même angle avec la quille du vaiſſeau; puiſque ce cordage paſſe tantôt par un écubier, & tantôt par un autre; ainſi la direction de la charge des pivots du Cabeſtan n'eſt pas fixe : on peut remédier à cet inconvénient, ou en changeant la ſituation des appuis du cylindre *D a b*, à chaque fois que la direction du cordage eſt chargée, enſorte que la ligne *C K*, qui joint les centres du cylindre & du pivot, faſſe toujours un même angle avec la direction de la charge; ou en faiſant porter le pivot ſur deux cylindres, enſorte que la direction variable de la charge paſſe entre les deux cylindres; ou enfin on ſe contentera de placer le cylindre, enſorte que la ligne *CK*, qui joint ſon centre à celui du pivot, tienne un milieu entre toutes les directions variables de la charge du pivot. Dans ce dernier cas, l'un ou l'autre des appuis fixes du pivot, leſquels doivent être paralleles à *CK*, portera une partie plus ou moins grande de la charge du pivot; mais le cylindre en

portera encore une bonne partie, & ne fera pas inutile à la force motrice pour l'aider à vaincre le frottement.

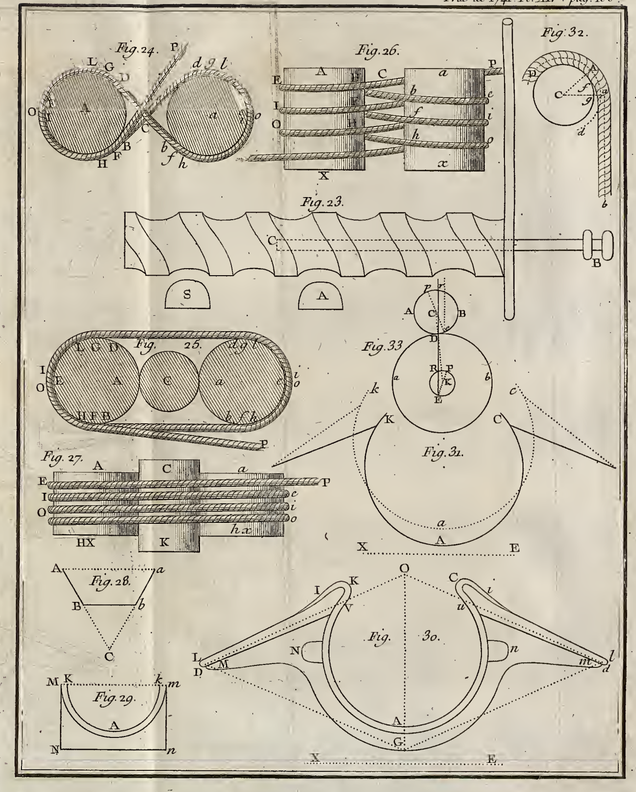
Il me reste à montrer la construction des appuis du Cabestan composé des trois arbres représentés, *Fig.* 25. 27. & à prouver que nonobstant l'excès de la charge de chacun des arbres extérieurs sur celle de l'essieu du Cabestan vulgaire, le frottement de cette Machine ne feroit pas plus grand que celui de celle-ci.

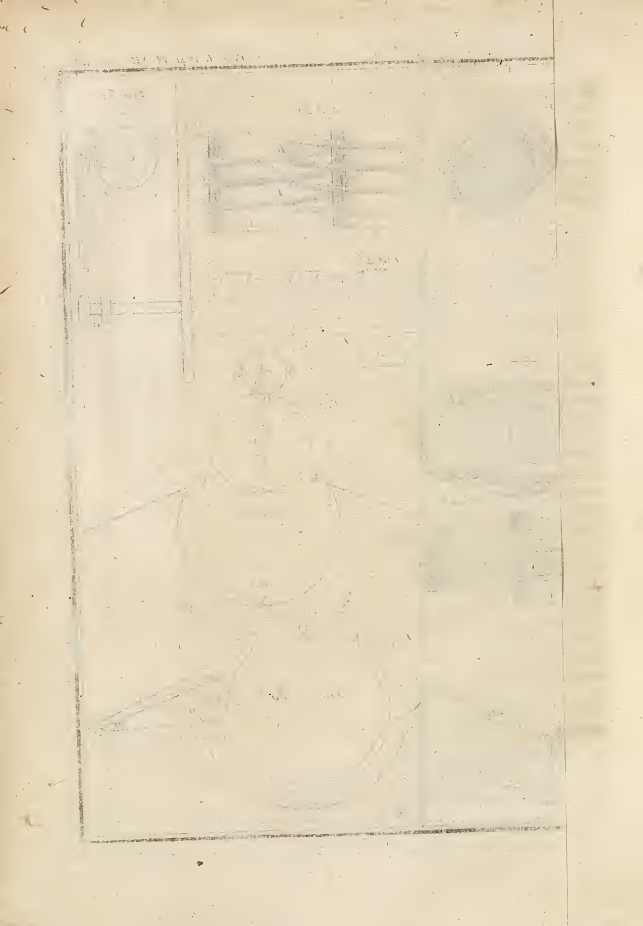
Fig. 25. 27.

SUPPLEMENT
A LA PIECE PRECEDENTE.

JE craignois il y a deux ans que ce ne fût pour moi une témérité que d'entreprendre d'écrire sur le Cabestan; mais qu'aurois-je pensé si j'eusse vû alors le Recueil des Machines approuvées par l'Académie, ou si j'eusse seulement connû la Machine à remonter les bateaux de M. Boulogne, dans laquelle deux essieux combinés servent à un dévidage non interrompu? Certainement je me serois abstenu d'une entreprise fondée principalement sur cette même idée; idée que l'Académie connoissoit avant qu'elle proposât son prix, & qu'elle jugeoit apparemment dès-lors impraticable sur mer. Ou si j'eusse persisté dans ce téméraire dessein nonobstant cette considération, je me serois bien gardé d'avancer nuement comme j'ai fait, aucune des choses déja proposées par d'autres; mais j'en aurois fait honneur aux Inventeurs. C'est pour réparer ce manquement que je fais les Notes suivantes. Je prie l'Académie de croire qu'il a été involontaire; elle peut voir par le commencement de l'article 2. de mon préambule, que j'ai toujours été disposé à rendre justice à autrui.

Comme il ne me reste presque aucune espérance de succès, à raison de *la multiplicité des vûes qu'il auroit fallu rem-*


Fig. 24.
Fig. 26.
Fig. 32.
Fig. 23.
Fig. 25.
Fig. 33
Fig. 31.
Fig. 27.
Fig. 28.
Fig. 29.
Fig. 30.



plir ici, vûes dont je ſuis peu inſtruit, & auſquelles je ſuis peu capable de répondre quand je les connoîtrois toutes; j'ai crû inutile, ou pour parler ſincérement, je n'ai pas eu le courage de refondre mon écrit, quoiqu'il en eût beſoin, & qu'il contienne pluſieurs ſuperfluités. Je me borne à quelques Additions, & à la correction d'une faute très-groſſiere, que je prie l'Académie de regarder comme non-avenue ou d'excuſer; il me ſemble qu'elle a déja eû pareille indulgence pour quelque piece qu'elle a bien voulu couronner.

Note pour le §. 1. *de l'article premier du Préambule.*

M. Muſſchenbroek dans ſon Eſſai de Phyſique, chap. 9. §. 347. pag. 184. contredit poſitivement la propoſition que je révoque ici en doute; ſçavoir, que le frottement (c'eſt ce que j'ai nommé réaction parallele) eſt le même, ſoit que la ſurface comprimée par le même poids ſoit grande ou petite, » Un même corps, dit-il, qui ne ceſſe de con- » ſerver ſa même péſanteur, a un frottement différent, » ſuivant la différence de la grandeur de ſa ſurface qui » produit le frottement. Il y a certaine ſurface qui étant » chargée de cette péſanteur, eſt ſujette au moindre frot- » tement; & toutes les autres ſurfaces, ſoit qu'elles ſoient » plus grandes ou plus petites que la précédente, ſont ſu- » jettes à un plus grand frottement, comme je l'ai ap- » pris par toutes les expériences bien faites. » Cependant je doute que cette prétention de M. Muſſchenbroek ſoit tout-à-fait certaine; car lui-même avertit, page ſuivante, » qu'il y a quelques irrégularités dans une des expériences » qu'il rapporte, & qu'il a remarqué ſouvent de ſembla- » bles irrégularités dans les expériences qu'il a faites pour » connoître le frottement ſans qu'il pût en voir la raiſon, » ſinon qu'il ſoupçonnoit la diverſité des parties. » Pour moi je ſoupçonne que ces irrégularités apparentes, ainſi que les inégalités les plus notables de frottement obſervées

par notre Auteur, provenoient de l'inégalité du séjour qu'il laissoit faire l'un sur l'autre aux corps qu'il éprouvoit; & je m'étonne qu'un Phisicien aussi curieux qu'il est d'expériences, n'ait pas fait attention à une cause si sensible de variation du frottement. M. Perraut l'avoit bien remarquée autrefois; (je suis bien aise de trouver un témoignage de cet habile Académicien, pour confirmer ce que j'ai avancé.) » Dans les Machines où il y a frottement, dit-» il, page 30. du tome I. du Recueil des Machines de l'A-» cadémie, il faudra que ce qu'on ajoute pour faire trébu-» cher, aille toujours croissant par la même proportion que » le poids du fardeau sera augmenté; & cela va assez loin, » *principalement quand le mouvement est interrompu, car alors* » *la résistance croît de près de moitié*, ainsi que l'expérience » le fait voir dans la roue d'une grue, parce que lorsqu'un » homme y marche, s'il s'arrête, il est obligé de monter » bien haut pour la remettre en train, ce qui arrive *parce* » *que les inégalités des parties qui se touchent, ont le loisir de* » *s'engager les unes dans les autres*, ce qui ne leur arrive » pas lorsqu'elles sont en mouvement. «

Au reste, dans toutes les expériences de M. Musschenbroek, le rapport du frottement à la charge comprimante de la surface qui frotte, est bien moindre que M. Belidor ne l'a observé dans l'épreuve qu'il a faite en élevant peu à peu un plan incliné, sur lequel il paroît que le corps qui devoit glisser, avoit séjourné assez long-tems; & ces expériences de M. Musschenbroek approchent beaucoup de celles que j'ai faites, sur-tout si l'on fait certaine réduction aux expériences que cet Auteur a exécutées avec son *tribometre*. Car » les cavités ou bassinets qui reçoivent les es-» sieux de cette machine, *sont un peu moindres que des demi-* » *cercles* parfaitement ronds & polis par dedans où l'essieu » peut se mouvoir, mais *presque sans le moindre jeu.* « Cela étant, les essieux ne portent pas seulement sur le fond des bassinets, mais encore sur les côtés, & agissent sur eux à la maniere du coin; c'est pourquoi la somme des

compressions des différens points où les essieux touchent les bassinets, est nécessairement plus grande que la charge du tribometre; c'est à cette somme qu'il faut comparer le frottement. Il est difficile de sçavoir au juste combien cette somme excéde la charge du tribométre; j'estime donc que l'une est à l'autre environ comme quatre à trois; cela supposé, là où M. Musschenbroek dit que le frottement est un sixiéme de la charge, sçavoir dans le cas où le tribométre chargé de trois livres, portoit sur des bassinets de cuivre rouge non-huilés; il faut évaluer le frottement à un huitiéme seulement de la véritable charge des bassinets; & dans le cas où ces mêmes bassinets étoient huilés, le frottement n'étoit qu'un onziéme environ de leur compression. Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'étendre la preuve de la nécessité de la réduction dont je parle; mais je citerai encore M. Perraut pour mon garant: il observe page 15. du Recueil des Machines de l'Académie, » Qu'il » se rencontre moins d'obstacle au mouvement de l'essieu » lorsqu'il ne touche qu'en deux endroits de l'appui *E*, *F*, » *Fig. 34.* que lorsqu'il est engagé dans une cavité ronde. *Fig. 34.*

Note pour le §. 3. du même Article.

M. Sauveur a fait un Mémoire sur le frottement d'une corde autour d'un cylindre immobile, *Mémoires de l'Académie de l'année 1703. page 305.* Il y prouve que les pressemens des différentes parties du cylindre par la corde, sont comme les ordonnées d'une logarithmique. J'avois quelque souvenir de cette proposition, lorsque j'ai composé cet article.

Correction pour le dernier Scholie du §. 1. de l'Article second du Préambule.

La précipitation avec laquelle j'ai rédigé cet Article que je n'avois pas eu d'abord dessein de composer, m'a fait

commettre dans le Scholie du Théoreme 5. du §. 1. une faute très-grossiere, dont je ne me suis apperçu que le lendemain de l'envoi de mon Mémoire. Elle est dans cette proposition : » Si toutes les puissances sont disposées ... on » trouvera que la somme des puissances qui sont d'un côté
Fig. 35. » de la ligne *AS*, *Fig.* 35. est à la somme des puissances qui » passent de l'autre côté, comme la somme des perpendiculaires d'une part est à la somme des perpendiculaires » d'autre part. » Je devois dire que chaque puissance étant multipliée par la perpendiculaire qui lui répond, la somme des produits des puissances qui passent d'un côté de *AS*, est égale à la somme des produits des puissances qui passent de l'autre côté de cette ligne. Mon erreur consiste en ce que j'ai pensé que cette égalité se résolvoit dans l'analogie ci-dessus exprimée.

Voici la preuve sommaire de l'égalité que je viens d'énoncer pour le cas où trois puissances *KP*, *OF*, *IB* sont appliquées au levier *AZ*, & soutenues en équilibre par deux résistances *AR*, *ZD*.

L'une & l'autre de ces résistances peut être conçue comme équivalente à trois autres, qui soient chacune paralleles à l'une des trois puissances, & capables de faire deux à deux un équilibre particulier avec l'une desdites puissances. Par exemple *ZD* peut être conçue comme équivalente à $Z\beta$ parallele à *IB*, &c. à $Z\varphi$ parallele à *OF*, &c. & à $Z\pi$ parallele à *KP*, &c.

La supposition que chacune de ces résistances combinée avec une autre résistance appliquée au point *A*, seroit capable de faire équilibre avec une des puissances, donne ces trois égalités $Z\beta \times AZ = IB \times AI$, $Z\varphi \times AZ = OF \times AO$; $Z\pi \times AZ = KP \times AK$. L'autre position, sçavoir que la seule résistance *ZD* équivaut à ces trois résistances $Z\beta$, $Z\varphi$, $Z\pi$, qui sont dans un même plan avec elle par l'hypothese du scholie, donne cette égalité facile à prouver par la méchanique commune $Z\beta \times$ sinus $DZ\beta =$

$Z\varphi$

$Z\varphi \times fin.\, DZ\varphi + Z\pi \times fin.\, DZ\pi$, dans laquelle substituant les valeurs de $Z\beta$, $Z\varphi$, $Z\pi$, on aura l'égalité $IB \times AI \times fin.\, DZ\beta = OF \times AO \times fin.\, DZ\varphi + KP \times AK \times fin. DZ\pi$. Maintenant il est aisé de voir par ce qu'on a dit dans le Théorême 5. que chacun des produits $A\varphi \times fin.\, DZ\beta$, $AO \times fin.\, DZ\varphi$; $AK \times fin.\, DZ\pi$, est proportionnel à la perpendiculaire qui seroit menée du point compétant de la ligne AS sur chacune des directions des puissances, donc ; &c.

Note pour le §. 2. de l'art. II. du préambule.

Non seulement la Théorie de M. Varignon est insuffisante pour déterminer la charge des appuis du Treuil ; mais qu'il soit permis de le dire, elle est vitieuse. » Soient, dit-il, » Sect. 4. Théor. 19. pag. 272. de sa Méth. posthume, deux » puissances quelconques P, R, appliquées au Treuil, sui» vant telles directions qu'on voudra, posées dans des plans » perpendiculaires à l'axe de la Machine. 1°. Ces deux puis» sances P, R, agiront ensemble sur cette Machine, comme » si elles étoient dirigées suivant un même plan perpendicu» laire à l'axe de cette même Machine » &c. Il faut distinguer : ces puissances agiront pour faire tourner la Machine, comme si elles étoient, &c. cela est vrai ; ces puissances agiront ensemble sur cette Machine pour en charger les appuis, comme si elles étoient, &c. cela est faux, puisque M. Varignon suppose que ces puissances sont situées en différens plans.

Note pour le §. 2. de l'article I. du Mémoire.

M. de la Madelaine a déja proposé, to. II. pag. 3. du Recueil des Mach. de l'Acad. de se servir de bricoles pour tirer les barres du Cabestan, assurant que quatre hommes feront plus d'effet à l'aide de ces bricoles, que huit distribués sur la longueur de la barre.

Addition à l'article II. du Mémoire.

§. VIII. Voici deux autres moyens de fixer un cable dans seul passage sur l'arbre du Cabestan.

En premier lieu on pourroit former autour de cet arbre
Fig. 36. une gorge comme *ABC, abc, Fig. 36.* que l'on garniroit de matiéres fléxibles, propres à recevoir le cable sans l'offenser; on revêtiroit l'autre bout de l'arbre de taquets *EF, ef*, un peu concaves par leur extrémité *F, f*, collée ou clouée à un anneau de cuir, & mobiles entre des clavettes de fer, le long de l'arbre; ensorte que l'anneau de cuir pût s'approcher & s'éloigner de la face *AB, ab* de la gorge: un petit ressort situé sous chaque taquet, produiroit l'éloignement; pour opérer l'approche, on appliqueroit au pont du vaisseau, & ce du côté opposé à celui d'où vient le cable, & où on le cueille, une portion d'anneau de matiére solide & polie, sous laquelle les bouts *E* d'une partie des taquets seroient forcés de glisser successivement à mesure qu'on vireroit le Cabestan. Il est visible que pourvû que le bout *D* de l'arbre opposé aux taquets, soit bien appuyé sur l'un des ponts, & que l'anneau solide appliqué à l'autre pont ne puisse s'écarter de celui-là, la partie des taquets qui passera sous cette portion d'anneau, pourra comprimer le cable à tel point qu'on voudra sur la gorge pratiquée autour de l'arbre, & que l'autre partie des taquets n'étant point serrée, laissera au cable la liberté de se placer dans cette gorge, & d'en ressortir pour être cueilli. On retiendroit infailliblement le cable par ce moyen; mais il seroit sujet à l'inconvénient d'un frottement excessif, tant sur le bout *E* des taquets, que sur le bout *D* de l'arbre.

On sauveroit cet inconvénient en partie, en changeant quelque chose à la disposition précédente: on pourroit donner au bout *Gg* de l'arbre, *Fig. 37.* une figure conique *GH, gh*, & tailler les bouts *E* des taquets en biseau, qui eût la même inclinaison que cette figure conique, afin qu'il pût s'appli-
Fig. 37.

quer à sa surface, & glisser sur elle: le bout *F* du taquet seroit contraint de s'approcher de la gorge *AB*, lorsque son bout *E* seroit poussé vers le centre de l'arbre, sçavoir de *G* en *H*; au contraire le bout *F* s'éloigneroit de la gorge *AB*, lorsque le bout *E* seroit repoussé de *H* en *G*. Pour donner ce mouvement alternatif aux taquets, 1°. On appliqueroit au pont du vaisseau, & ce du côté opposé à celui d'où vient le cable, & où on le cueille, un demi-collier *IKOL*, *Fig.* 38. qui étant rencontré en *IK*, par la face extérieure des taquets, les feroit glisser de *G* en *H*, & qui les retiendroit en *H*, en les embrassant étroitement par sa cavité *KOL*, pendant que l'arbre feroit un demi-tour, &c. 2°. On garniroit chaque taquet d'une languette de fer terminée par un mentonnet tourné vers l'axe, & on appliqueroit au pont du côté d'où vient le cable, une piéce comme *MNPQ*, formée en coin en *MN*, & *PQ*, & également épaisse en *NP*, laquelle éleveroit chaque mentonnet par sa partie *MN*, en même-tems qu'elle l'éloigneroit de l'axe de l'arbre, & le soutiendroit ensuite par sa partie *NP*, &c. *Fig.* 38.

Si les taquets parvenus en *H* ne comprimoient pas suffisamment le cable, il n'y auroit qu'à placer sur la face *AB*, *ba* de la gorge quelques bandes d'étoffe; on augmenteroit ainsi la compression du cable autant qu'il seroit necessaire. Au lieu de retenir les taquets en *H*, en les enfermant dans la cavité *KOL*, on pourroit les arrêter par de petits pênes, &c. Cela sauveroit encore une partie du frottement; mais tout cet équipage seroit peut-être trop sujet à se déranger.

En second lieu, l'arbre du Cabestan étant cylindrique, & y ayant creusé une canelure demi-ronde pour recevoir le cordage, on pourroit disposer autour de cet arbre plusieurs essieux beaucoup moindres que lui, *Fig.* 39. lesquels auroient chacun une canelure presque demi-ronde, & dont les pivots pourroient être pressés à discretion vers l'axe de l'arbre, afin de comprimer le cordage autant qu'il seroit necessaire entre la canelure de l'arbre & celle des petits essieux. Il faudroit que l'arbre, ainsi que les essieux qui l'environnent, *Fig.* 39.

fussent garnis de dents, qui engrenassent les unes dans les autres, afin que les petits essieux reçussent leur mouvement de l'arbre même; car cela étant ainsi, les compressions opposées exercées sur le cordage par les petits essieux & par l'arbre, contribueront également à saisir le cordage & à l'amener; mais si les petits essieux ne recevoient leur mouvement que du cordage, il est évident que leur pression réciproque ne serviroit aucunement à amener le cordage, mais seulement à les faire tourner; ainsi la compression du cordage par l'arbre qui seroit seule utile, devroit être une fois plus grande que dans l'autre disposition, ce qui augmenteroit considerablement le frottement auquel cette forme de Cabestan est encore sujette.

Note pour l'article V. du Mémoire.

M. Du Mondran a proposé dès l'année de faire porter les essieux des Machines sur des rouleaux, afin de diminuer le frottement; & M. Caron a executé cela dans sa Machine à remonter les batteaux.

Addition pour le même article.

Le tems me manqua en 1738. & je laissai mon écrit imparfait; il me restoit à montrer que le frottement du Cabestan à double essieu, ne seroit pas plus grand en disposant ses appuis de certaine façon, que celui du Cabestan simple, quoique la charge de chaque essieu de celui-là fût plus grande que celle de celui-ci.

Voici la description de cette forme d'appuis. J'ai dit §. 4. de l'art. II. que l'arbre mitoyen entre les deux essieux devoit porter un pignon qui engrene dans la roue dentée de chaque essieu; je devois plutôt dire que chaque essieu doit avoir deux roues dentées parfaitement égales, sçavoir une à chaque extrémité, & que l'arbre mitoyen doit aussi avoir deux pignons égaux. La forme convenable à toutes ces piéces,

eſt d'être diviſées dans leur épaiſſeur en deux portions, l'une dentée, & l'autre ſans dents; le diamétre de celle-ci doit être moindre que celui du cercle extérieur de la portion dentée, mais plus grand que celui de ſon cercle intérieur; enſorte que les roues étant engrenées dans les pignons, leurs portions non dentées ſe touchent, & roulent librement l'une ſur l'autre.

Maintenant *BD bd*, *Fig.* 39. eſt une piéce de bois très-ſolide, ou même de fer, percée en trois endroits; ſçavoir au milieu, d'un trou rond dans lequel l'arbre mitoyen tourne aiſément, & de deux trous oblongs vers les extrémités pour y recevoir les pivots des eſſieux: ces trous ſont oblongs pour deux raiſons; l'une, afin que les eſſieux s'approchent librement l'un de l'autre, juſqu'à ce qu'ils touchent le pignon de l'arbre mitoyen; l'autre, afin qu'on puiſſe garnir cet arbre de differentes paires de pignons de la grandeur convenable aux beſoins differens: pareille piéce recevra les pivots de l'autre extrémité des eſſieux; l'une & l'autre ſera mobile autour de l'arbre mitoyen, afin de pouvoir être ſituée ſelon ſa longueur parallelement au cordage, qui peut être dirigé vers differens endroits, & ſera annéxée aux ponts du vaiſſeau par ſes deux bouts dans le tems de ſon ſervice. *Fig.* 39.

Il eſt évident que le cordage qui embraſſera les eſſieux, approchera leurs roues de l'arbre mitoyen, & les comprimera ſur ſon pignon; mais cette compreſſion, quelque grande qu'elle ſoit, ne cauſera aucun frottement.

Les frottemens qui auront lieu, ſeront, 1°. entre les pivots des eſſieux, & l'un des côtés, par exemple *B*, & *b*, des trous oblongs; mais ces frottemens feront peu d'obſtacle, puiſqu'en eux-mêmes ils ſont ſeulement proportionnels aux compreſſions des côtés *B*, *b*, leſquelles enſemble ſont égales à la force qui bande le cable, & que le rayon du pivot pouvant être fort petit en comparaiſon de celui de la roue dentée, on a un grand moment pour les vaincre.

2°. L'arbre mitoyen ſouffrira auſſi quelque frottement, mais petit, parce qu'il provient ſeulement de la difference

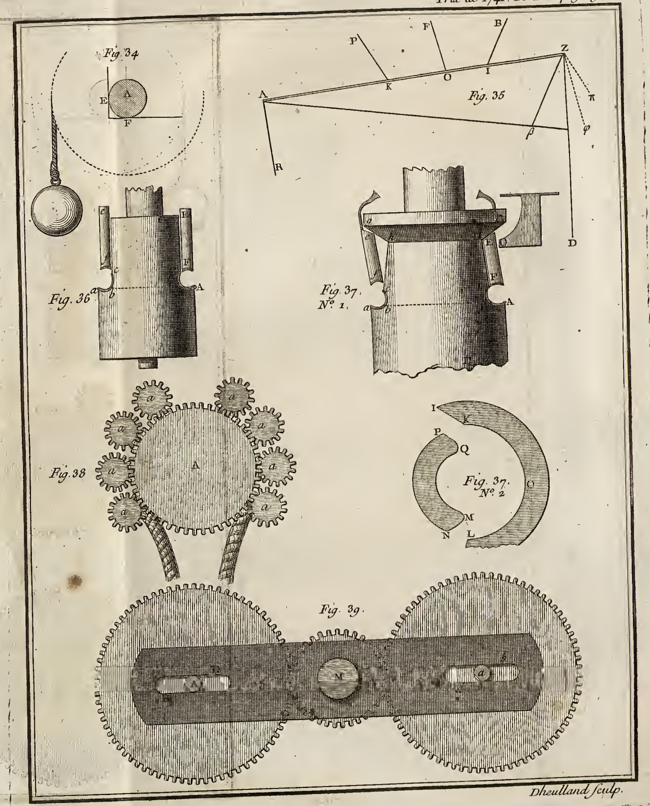
des forces contraires, avec lesquelles l'arbre mitoyen doit agir sur chacune des roues dentées pour leur imprimer le mouvement circulaire, & avec lesquelles il réagit pour soutenir leur pression. On peut même réduire à l'égalité ces forces contraires exercées par l'arbre mitoyen, & ce, en plaçant obliquement en travers de chaque trou oblong une barre qui soutienne une partie de la tendance d'un des essieux, & qui augmente celle de l'autre; ce qui étant fait, l'arbre mitoyen n'aura presque aucun frottement, & celui des pivots des essieux sera très-peu augmenté.

On trouve, dit-on, de grands inconvéniens à doubler les essieux; par exemple, on croit qu'ils seront exposés à être courbés. J'estime que ce danger n'a lieu qu'au cas qu'on les fasse trop longs, & qu'on fasse faire au cordage beaucoup de révolutions, ce qui n'est pas necessaire si l'on fait sur l'essieu des canelures, & qu'on les garnisse de feutre ou d'étoffe, &c.

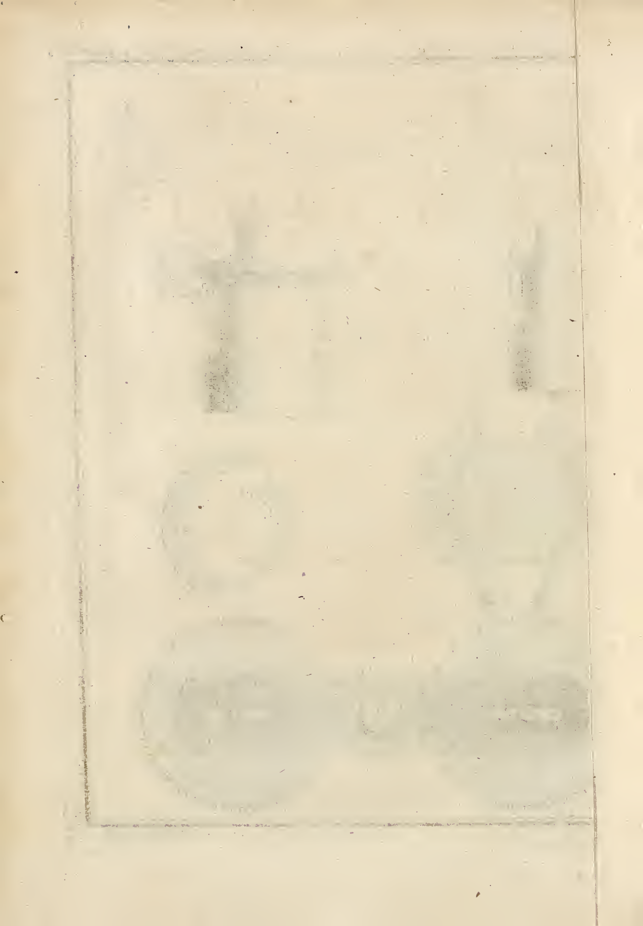
M. de la Madelaine a proposé un Cabestan à lanterne, afin d'augmenter l'effort de cette Machine; mais par-là il rend son opération trop lente: l'application de roues dentées que je propose, a un autre objet, & n'est point sujette à cet inconvénient. On a encore objecté à M. de la Madelaine, qu'une dent de son Cabestan pourroit manquer, ce qui jetteroit l'équipage dans l'embarras. Comme l'effort necessaire pour amener le cable sera distribué sur quatre roues dentées dans la forme que je propose, l'inconvénient en question me semble peu à craindre.

A Troyes, ce 30. Août 1740.

FIN.



Dheulland sculp.



MEMOIRE
SUR LE
CABESTAN.

Piece qui a concouru au Prix de l'Académie Royale des Sciences.

Deus non projicit ſimplicem.

Par M. de Pontis, Officier des Galeres, Correſpondant de l'Académie Royale des Sciences.

MEMOIRE



MEMOIRE
SUR
LE CABESTAN.

Deus non projicit ſimplicem.

IL ſeroit difficile de concevoir une Machine plus ſimple que le Cabeſtan ; & après bien des réflexions, il m'a paru qu'on ne pouvoit lui en ſubſtituer une autre dans les bâtimens de mer qui fût moins embarraſſante, dont la manœuvre fût plus aiſée, & qui occupât moins de place dans un navire, où l'on ſçait que l'eſpace eſt ſi précieux ; qu'on ne peut être trop attentif à le ménager avec tout le ſoin & l'œconomie poſſible.

Pluſieurs tentatives que j'ai faites à ce ſujet, & quelque uſage que j'ai des méchaniques & de la navigation, n'ont ſervi qu'à me confirmer dans l'opinion où je ſuis, qu'on ne peut rien imaginer qui ſoit plus propre aux divers ſervices d'un vaiſſeau que le Cabeſtan.

C'eſt ce qui m'a déterminé à lui donner la préférence, & à m'attacher à chercher avec ſoin les moyens de le perfectionner, ou du moins de remédier par des diſpoſitions ſimples aux inconvéniens qu'on reproche à cette machine pour pouvoir en rendre la manœuvre moins pénible & moins interrompue.

Le principal inconvénient du Cabeſtan, c'eſt la néceſſité où l'on eſt de perdre un tems conſidérable à choquer *; & il paroît qu'on pourroit y remédier aiſément ſi l'on vouloit ſeulement mettre à profit les avantages qu'on peut tirer des différens Cabeſtans qu'on a ſur tous les grands vaiſſeaux, & qu'on fait ſervir à différentes manœuvres.

Il faudroit pour cela au lieu d'un ſeul Cabeſtan, en employer deux pour la même manœuvre; on préviendroit par-là l'inconvénient qu'il y a à choquer, & l'on s'en ſerviroit avec toute la diligence poſſible.

On verra dans peu qu'il n'eſt point de vaiſſeau, quelque petit qu'il ſoit, qui ne puiſſe avoir un double Cabeſtan qui n'occupera pas plus de place que celle qu'on a coutume de donner à cette machine. Mais avant que d'en parler, examinons en premier lieu quel eſt l'effet que peuvent produire ces deux Cabeſtans employés à la même manœuvre: nous verrons enſuite quels ſont les changemens que cela demande dans l'intérieur des bâtimens.

I.

Fig. 1. 2. Pour attirer le fardeau P (*Fig.* 1. & 2.) vers le point R, ſoit qu'on veuille le ſoulever ou bien le faire gliſſer ſur un plan horizontal, on ſe ſert ordinairement d'un ſeul Cabeſtan tel que AB, par le moyen d'une corde EHO qui ſaiſit le fardeau P au point E, & qui fait trois ou quatre tours ſur le Cabeſtan après avoir paſſé ſur une poulie H, vers le point R où l'on veut attirer le poids: mais la corde deſcendant de ſa groſſeur à chaque tour, il arrive que quand elle eſt parvenue tout-à-fait au bas au point B, le Cabeſtan ne peut plus virer, & l'on eſt obligé de choquer, c'eſt-à-dire, de prendre des boſſes, de dévirer le Cabeſtan, de hauſſer le cordage au plus haut de la fuſée vers le point A; de virer de nouveau juſqu'à ce que les

* On appelle *choquer*, la manœuvre qu'on eſt obligé de faire, lorſque le cordage étant deſcendu, après pluſieurs tours, au plus bas de la fuſée, il empêche le Cabeſtan de pouvoir virer: on verra dans un moment quelle eſt cette manœuvre.

boſſes ne faſſent plus de force, d'ôter ces boſſes, & enfin de continuer la manœuvre juſqu'à ce que le cordage ſoit deſcendu au bas du Cabeſtan; auquel cas il faut choquer de nouveau, & perdre un tems conſidérable à prendre des boſſes, à dévider, & enfin à faire la même opération qu'on vient de décrire pour élever le cordage au haut du Cabeſtan.

Mais il me paroît qu'on pourroit éviter la plus grande partie de ces inconvéniens, & rendre la manœuvre bien moins interrompue, par le moyen d'un ſecond Cabeſtan *CD*, qui aidera à ſoulever le fardeau & à l'approcher du point *R* par l'effet d'une corde *EGF* attachée à ce fardeau au point *E*, & qui fait pluſieurs tours ſur le Cabeſtan après avoir paſſé ſur une poulie *G* vers le point *R*; ainſi les deux Cabeſtans s'entraideront & ſerviront autant l'un que l'autre à faire venir le poids au lieu marqué.

Et pour que la manœuvre ne ſoit que très-peu retardée, & preſque point interrompue, il n'y a qu'à obſerver une ſeule choſe en commençant; ſçavoir, que le cordage qui eſt roulé ſur l'un des deux Cabeſtans *AB*, ne ſoit élevé qu'au milieu de ſa hauteur, comme il paroît dans la figure, tandis que le cordage qui eſt roulé ſur l'autre ſe trouvera au plus haut de la fuſée *CD*: par ce moyen la manœuvre ne ſera preſque pas interrompue; car en virant ces deux Cabeſtans enſemble, il eſt bien certain qu'on attirera le poids vers le point *R*; & comme on vire ces deux Cabeſtans en même tems, le cordage du premier Cabeſtan *AB* deſcendra en même tems que celui du ſecond *CD*, enſorte que lorſque le premier cordage *EHO* ſera deſcendu tout-à-fait au bas de la fuſée *AB*, le ſecond *EGF* n'aura parcouru que la moitié de la fuſée *CD*: alors le premier Cabeſtan *AB* ne pourra pas virer à la vérité; mais comme rien n'empêche le ſecond de virer, & qu'il virera en effet, tout l'effort du poids ſe fera ſur cette corde *EGF*; la premiere *EHO* reſtera donc lâche, & dans le moment on pourra ſoulever cette corde juſqu'au haut de la fuſée *AB*,

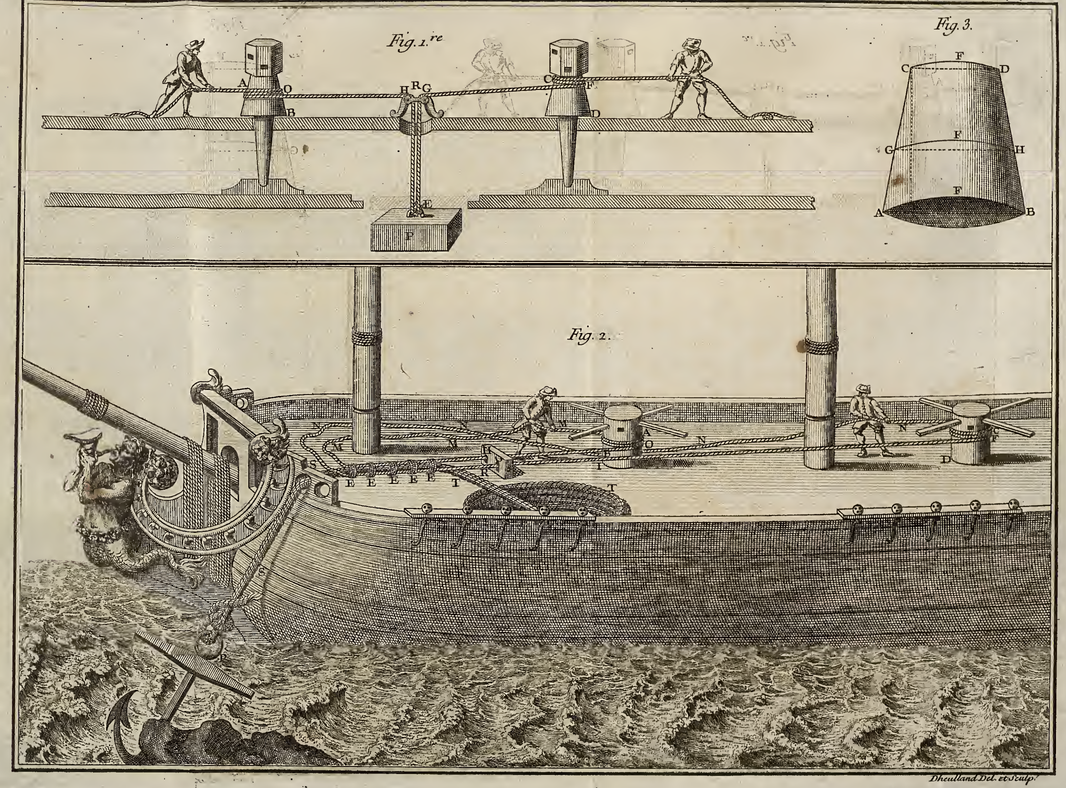
& faire virer les deux Cabeſtans enſemble.

Alors la premiere corde ſera au haut du Cabeſtan *A B*, tandis que la ſeconde ſera au milieu de la fuſée *CD*; & quand cette ſeconde corde *E G F* ſera arrivée au bas, & que ce Cabeſtan ne pourra plus virer, la premiére corde ſera au milieu du Cabeſtan *AB*; & comme on continuera à le faire virer, la force ſe fera ſur cette corde *E HO*, tandis que le ſecond Cabeſtan *CD* ſera arrêté, ce qui fera que la corde *E G F* reſtera lâche, & qu'on pourra la ſoulever aiſément juſqu'au haut de la fuſée *CD*: alors rien n'empêchera que les deux Cabeſtans ne virent enſemble, & en continuant cette manœuvre, on attirera enfin le poids *P*, ſans qu'il y ait eu beaucoup d'interruption dans l'opération.

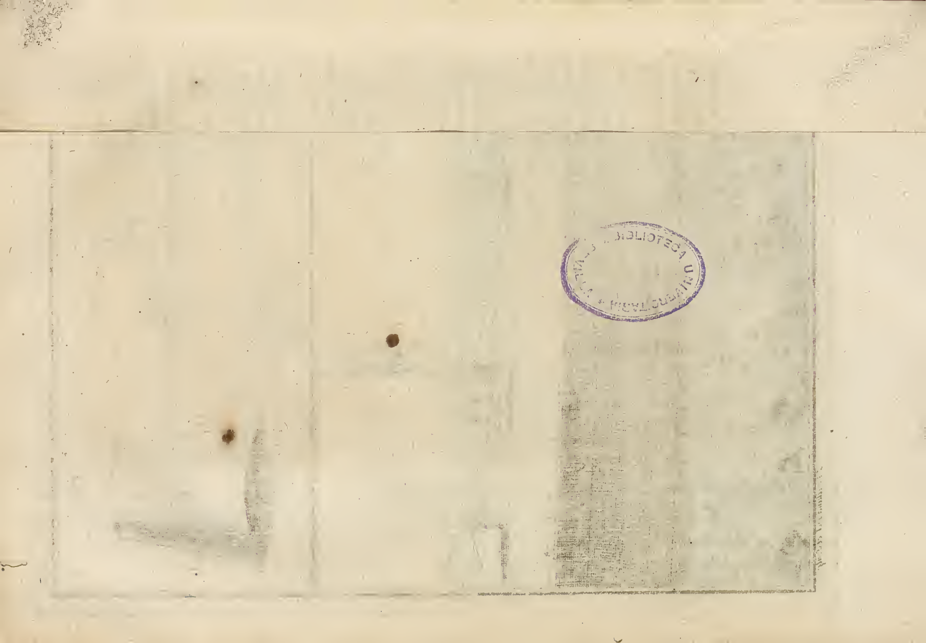
Le fuſeau du Cabeſtan ſur lequel ſe dévide la corde, eſt ordinairement fait en forme de cône tronqué, comme en la *Figure* 1. & il eſt évident que cette figure eſt favorable pour faire remonter aiſément le cordage au haut de la fuſée, & que cela donne de la facilité à choquer.

Fig. 1.

Il n'eſt pas douteux que la manœuvre qu'on propoſe ici ne puiſſe être executée avec deux Cabeſtans de cette forme; il n'y a qu'un ſeul inconvénient qui eſt bien leger; cet inconvénient eſt que la premiere corde étant vers le milieu du Cabeſtan *A B*, dans un point où la fuſée a, par exemple, deux pieds $\frac{1}{2}$ de diamétre, tandis que la ſeconde corde eſt au haut du Cabeſtan *CD*, où la fuſée n'a que deux pieds de diamétre, les deux cordes ſe raccourciront inégalement à chaque tour; & comme il faut pour que cette manœuvre ſe faſſe avec ſuccès, que les Cabeſtans ſe partagent à peu-près les efforts, il faudroit les faire tourner avec des vîteſſes differentes, afin de faire enſorte que les deux cordes ſe raccourciſſent toujours également, ce qui ne paroît pas renfermer de grandes difficultés: cela arrive même tous les jours dans cette manœuvre, par une méchanique toute ſimple & toute naturelle; car les matelots qu'on y emploie, accoutumés à faire un certain effort dans cette manœuvre, marchent très-vîte lorſque la corde eſt au haut de la fuſée,



Dheulland Del. et Sculp.


BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

& diminuent petit à petit cette vîteſſe à meſure que la corde deſcendant, la réſiſtance du poids augmente, ce qui les oblige à faire toujours de plus grands efforts, juſqu'à ce que la corde ſoit au bas du Cabeſtan.

Mais pour lever toutes les difficultés, il paroît qu'on pourroit faire les fuſeaux de ces Cabeſtans en forme de cylindre, tels à peu-près qu'on les voit, *Fig.* 2. où l'on repréſente l'appareil pour lever l'ancre. Je crois même que cela ſera plus avantageux, plus ſimple, & plus commode; pluſieurs raiſons me font adopter cette forme. *Fig.* 2.

1°. Les Matelots agiront toujours avec une force uniforme, & ne feront pas obligés de l'accélerer de moment en moment, comme ils font quand le Cabeſtan eſt de figure conique; & en conſéquence de cela ils ſeront moins fatigués, & en état de continuer plus long-tems & ſans interruption, cette manœuvre qui ne ſera preſque point pénible.

2°. On pourra diminuer le diamétre du Cabeſtan, & conſéquemment les hommes auront plus d'avantage ſur le poids.

3°. Le Cabeſtan ayant moins de diamétre, occupera moins de place dans le bâtiment, & par conſéquent il y cauſera moins d'embarras.

Ce raccourciſſement du diamétre, mérite cependant qu'on y faſſe quelques réflexions: car ſi on le faiſoit extrémement petit, les Matelots auroient à la vérité un avantage extrémement grand ſur le poids; mais le poids ne montant que bien peu à chaque tour, il faudroit une infinité de tours pour le faire monter ſur le pont; de ſorte qu'on avanceroit peu l'ouvrage en y employant beaucoup de tems: ainſi il y a un milieu à garder, pour que la manœuvre ſe faſſe promptement en conſervant cependant tout l'avantage poſſible aux Matelots.

Pour cela il faut conſidérer que dans le Cabeſtan ordinaire dont la figure eſt conique, le cordage deſcend de ſa groſſeur à chaque tour que fait le Cabeſtan, & enfin qu'il arrive au bas du Cabeſtan après un certain nombre de tours,

ſuivant que le cordage eſt plus ou moins gros.

Ce ſera la même choſe dans le Cabeſtan cylindrique que je propoſe ici ; & voici la ſeule choſe qu'il y a à obſerver.

Le poids P monte de 100 pieds, par exemple, dans l'eſpace de tems qui eſt néceſſaire pour faire deſcendre une corde de trois pouces de diamétre, au bout de laquelle il eſt attaché, du point A au point B, *Fig.* 1. qui repréſente le Cabeſtan ordinaire.

Fig. 1.

Il faut faire le Cabeſtan cylindrique, tel que dans le même intervalle de tems, un cordage égal, c'eſt-à-dire, de 3 pouces de diamétre, étant parvenu de A en B, (*Fig.* 2.) faſſe monter ou approcher le poids P de la même quantité de 100 pieds ; & il eſt évident que cela arrivera dans un Cabeſtan cylindrique, dont la ſurface contournante ſera égale à celle du cône tronqué du Cabeſtan ordinaire ; car la corde en deſcendant paſſe ſur tous les points de la ſurface contournante, & les cent pieds de cordages qui y paſſent deſſus, ne ſont que la quantité de ce cordage qu'il faudroit pour envelopper la fuſée, & couvrir tous les points de ſa ſurface contournante.

Fig. 2.

Or pour trouver la valeur du diamétre que doit avoir un cylindre qui aura ſa ſurface contournante égale à celle du cône tronqué dont la hauteur ſera la même, il n'y a qu'à prendre la ſomme du plus grand & du plus petit diamétre du cône tronqué, la multiplier par le côté du même cône, & diviſer le tout par le double de ſa hauteur perpendiculaire.

Demonstration. Pour le prouver, ſoit $ABCD$ le cône tronqué, (*Fig.* 3.) CFD, ſa plus petite circonférence ſera ſuppoſée $= a$, AFB ſa plus grande circonférence $= b$, BD ſon côté $= c$, CE ſa hauteur perpendiculaire $= h$, & GFH la circonférence inconnue du cylindre cherché $= x$.

Fig. 3.

L'expreſſion de la ſurface contournante du cône tronqué, eſt $\overline{CFD + AFB} \times \frac{1}{2} BD$, ou algebriquement $\frac{1}{2} ac + \frac{1}{2} bc$.

L'expreſſion de la ſurface contournante du cylindre,

sera $CFH \times CE$, ou plutôt algébriquement hx; or par la supposition, ces deux expressions sont égales, ensorte que $\frac{ac+bc}{2} = xh$; & $x = \frac{ac+bc}{2h}$, ce qui donne la valeur toute connue de la circonférence cherchée du cylindre; mais les circonférences de cercles sont en même raison que leurs diamétres, d'où il suit que le diamétre CH de la circonférence x, ou du cylindre qui aura les conditions désirées, sera égale à la somme des deux diamétres $AB + CD$ multipliée par le côté BD du cône, le tout divisé par le double de sa hauteur perpendiculaire CE, ce qu'il falloit prouver.

Ainsi dans un vaisseau de moyenne grandeur, de 60 canons par exemple, où le gros Cabestan duquel on se sert pour lever l'ancre, a environ 3 pieds de diamétre à son gros bout, 2 à son petit, 3 pieds de hauteur perpendiculaire, & à peu-près 3 pieds 5 lignes, ou 437 lignes pour son côté, il faudra multiplier $3^{pi} + 2^{pi}$, ou 720 lignes, somme du plus grand & du plus petit diamétre, par 437 lignes son côté, & diviser le tout par 6 pieds, qui est le double de sa hauteur perpendiculaire; ce qui donnera 2 pieds 6 pouces 4 lignes, pour le diamétre d'un cylindre dont la surface contournante sera égale à celle du cône tronqué du Cabestan ordinaire, au moyen de quoi on fera (ce me semble) la manœuvre plus promptement, & avec plus d'avantage.

Je dis plus promptement, parce qu'il passera sur ce Cabestan autant de cordage qu'il en passe sur un Cabestan ordinaire, dans un tems donné; & que si l'on se sert de deux Cabestans au lieu d'un, on gagnera tout le tems qu'il faut employer à choquer.

Je dis de plus qu'on s'en servira avec plus d'avantage; & voici ce que j'entends: il faudra moins de monde à chacun de ces Cabestans, qu'il n'en faut à ceux de figure conique; car dans les derniers on est obligé d'employer autant de Matelots, que si le Cabestan étoit par-tout égal à son gros bout.

Il eſt vrai qu'ils n'ont pas beaucoup de peine au commencement, lorſque la corde eſt au haut de la fuſée ; mais comme la corde deſcend, & qu'ils ſont obligés de redoubler leurs efforts de moment en moment, & que la corde parvient enfin au bas, c'eſt-à-dire, au plus gros bout, on eſt obligé de mettre autant de monde ſur les barres que ſi la corde étoit toujours dans cet endroit pénible du Cabeſtan.

Au lieu que celui que je propoſe ayant un moindre rayon, donnera plus d'avantage aux Matelots : il eſt vrai qu'ils feront des efforts uniformes, & tels à la fin qu'au commencement; mais auſſi l'on pourra y mettre moins de monde, ou ſi l'on y employe le même nombre d'hommes, on leur rendra cette manœuvre beaucoup moins pénible ; on en jugera encore mieux par le détail où l'on va entrer tout à l'heure.

Ainſi toutes nos obſervations ſe réduiſent à deux choſes; la premiere, c'eſt de faire les fuſeaux des Cabeſtans en forme de cylindre, plutôt que de figure conique ; la ſeconde qui eſt bien plus eſſentielle encore, conſiſte à ſe ſervir de deux Cabeſtans au lieu d'un pour la même manœuvre. Il eſt aiſé de voir par ce qui a été dit précédemment, & par la ſeule inſpection des *Figures* 1 & 2. tout l'avantage qu'on pourra en retirer, ſoit pour ſoulever de grands fardeaux, ſoit pour lever l'ancre, ſoit enfin pour tous les différens ſervices du vaiſſeau, qu'on fera facilement en diſpoſant à propos toutes ſes manœuvres.

Voilà quel eſt l'effet qu'on doit attendre de ces deux Cabeſtans; voyons de quelle façon on pourra les placer dans les navires, & examinons en même-tems s'il n'y a point d'inconvénient à s'en ſervir, & ſi l'équipage d'un vaiſſeau pourra ſuffire à fournir le nombre de Matelots neceſſaires à cette manœuvre, telle qu'on la propoſe.

II.

Il n'eſt point de grand vaiſſeau comme ſont les vaiſſeaux de guerre, qui ne portent pluſieurs Cabeſtans.

Les

Les vaiſſeaux du premier & du ſecond rang, c'eſt-à-dire, les vaiſſeaux à trois ponts, & les vaiſſeaux à deux ponts & demi du premier ordre, portent trois Cabeſtans.

Le premier & le plus fort Cabeſtan ſe poſe entre le mât d'artimon & le grand mât; il a deux rangs de barres, l'un ſur le premier, & l'autre ſur le ſecond pont.

Le ſecond Cabeſtan eſt moins gros que le premier, & n'a qu'un rang de barres; il ſe poſe entre le mât de miſaine & le grand mât, ſur le ſecond pont, à peu-près vers le milieu du bâtiment.

Le troiſiéme eſt à peu-près de même groſſeur que le ſecond; il n'a qu'un rang de barres, & ſe poſe ſur le gaillard d'avant, à huit ou neuf pieds du mât de miſaine.

Les vaiſſeaux du troiſiéme, quatriéme, & cinquiéme rang, c'eſt-à-dire, les vaiſſeaux de 60 canons, & au-deſſous, & les frégates ordinaires, ont le premier & le dernier de ces deux Cabeſtans; ainſi dans tous ces bâtimens, où il y a au moins deux Cabeſtans, l'un à l'avant, & l'autre à l'arriére, la manœuvre qu'on vient de propoſer pourra être executée ſans difficulté, & il eſt même étonnant que l'on n'ait pû reconnoître encore de quelle importance ces deux Cabeſtans peuvent être pour s'entraider l'un l'autre. Il ſuffira pour pouvoir s'en ſervir avec plus de ſuccès, de tâcher de faire ces deux Cabeſtans d'égale groſſeur; c'eſt-à-dire, qu'il faudra que le Cabeſtan de l'avant ſoit pareil à celui de l'arriére, & qu'il ait comme lui deux rangs de barres s'il eſt poſſible, ce qui ſera d'autant plus avantageux, qu'on aura par-là le moyen d'y placer un plus grand nombre de Matelots, qui ſont ſouvent oiſifs, & preſque toujours inutiles pendant cette manœuvre, ſur-tout dans les navires tels que les vaiſſeaux de guerre, qui ont un équipage très-nombreux. Il pourroit cependant ſe trouver quelques difficultés à donner deux rangs de barres au Cabeſtan de l'avant; & en ce cas on pourroit tout ſimplement faire un Cabeſtan à l'Angloiſe à un ſeul étage, (comme en la *Figure 4.*) obſervant ſeulement de faire ſon fuſeau pareil à celui de *Fig. 4.*

poupe : ces ſortes de Cabeſtans ont l'avantage de pouvoir porter un plus grand nombre de barres que les autres, ce qui donne le moyen de faire la même force, & de placer autant de monde ſur un ſeul & même pont, que ſi le Cabeſtan étoit fait, ſelon l'uſage ordinaire, avec deux fuſées : ainſi on n'employera pas moins de monde, & on ne fera pas moins de force ſur ce Cabeſtan, que ſur celui de l'arriére, qu'on pourra laiſſer à deux étages ſi l'on veut.

Quoiqu'on ſçache qu'il y a toujours ſur un vaiſſeau beaucoup plus de monde qu'on n'en a beſoin pour faire cette manœuvre, il n'eſt pas inutile de faire remarquer, qu'il ne faudra pas un nombre beaucoup plus grand de Matelots pour faire la manœuvre des deux Cabeſtans, tels qu'on les propoſe ici, qu'il n'en faut pour le Cabeſtan, tel qu'il eſt aujourd'hui ; pour cela nous avons beſoin d'entrer dans quelque détail.

Un vaiſſeau de 60 canons, a quatre cens hommes d'équipage au moins ; ſon gros Cabeſtan a 35 à 36 pouces de diamétre ; il a deux rangs de barres, & on peut placer à chaque rang huit barres de dix pieds de long, & quatre hommes à chaque barre, ce qui fait en tout ſoixante-quatre hommes.

Voyons à préſent quel ſera le fardeau auquel ces ſoixante-quatre hommes ſeront capables de réſiſter, quand la corde eſt au bas du Cabeſtan.

On a déja dit que la barre avoit 10 pieds de long, & qu'il y avoit quatre hommes à chaque barre ; mais ces quatre hommes ne peuvent pas ſe mettre tous à l'extrémité de la barre ; il faut qu'ils ſe rangent tout au long de cette barre, enſorte que chaque homme occupe environ un pied & demi ſur cette barre, ce qui fait 6 pieds pour les quatre hommes.

Il eſt évident que la force moyenne de ces quatre hommes, ſe réunit entre le ſecond & le troiſiéme ; de ſorte qu'on peut conſidérer que la force des quatre hommes eſt appliquée en un ſeul point, placé entre le ſecond & le troi-

siéme de ces hommes, c'est-à-dire, à trois pieds plus près du centre, que l'extrémité de la barre; ainsi la force de ces quatre hommes est comme si elle étoit réunie, & appliquée à l'extrémité d'un levier de 7 pieds.

La fusée du Cabestan a dans cet endroit-là, 36 pouces de diamétre, ce qui fait 18 pouces de rayon; par conséquent, le poids auquel on a à résister, est censé agir par un levier de 18 pouces, tandis que les hommes agissent sur un levier de 7 pieds, ou 84 pouces.

Les Principes de Méchanique nous apprennent, que le rayon du Cabestan, est à la partie de la barre, comprise depuis l'axe du Cabestan jusqu'au point où est appliquée la force moyenne des quatre hommes, comme la force de ces quatre hommes est au poids qu'ils peuvent soulever, & mettre en équilibre avec leurs forces.

Or le rayon du Cabestan est de dix-huit pouces; la partie de la barre, comprise entre l'axe du Cabestan & le point où se réunit la force moyenne des quatre hommes, est de 84 pouces; & l'effet de la force d'un homme, qui pousse dans cette attitude sans se fatiguer, sera supposé de 25 livres, ce qui donne 100 livres pour la somme des forces des quatre hommes.

A présent pour sçavoir quel est le poids qu'ils souleveront, je n'ai qu'à faire cette proportion: 18 pouces, rayon du Cabestan, est à 84 pouces, partie de la barre, comprise depuis l'axe du Cabestan jusqu'au point où est appliquée la force moyenne des quatre hommes, comme 100 livres, qui exprime la force de ces quatre hommes, est au poids que soutiendront ces hommes, qui est, par cette proportion, de 466 livres; & comme nous avons dit que le Cabestan avoit 8 barres à chaque pont, il faut multiplier les 466 livres par 8; ce qui donne 3728 livres pour l'effort des 32 hommes, qu'il y a sur les 8 barres du premier pont, & un effort double, c'est-à-dire, de 7456 livres, pour l'effort total des soixante-quatre hommes employés aux deux rangs des barres.

Voyons à présent quel effort feront trois hommes seu-

lement appliqués aux barres du Cabeſtan que je propoſe. Nous avons trouvé que ce Cabeſtan devoit avoir environ 30 pouces de diamétre, ce qui donne 15 pouces de rayon; les barres de ce Cabeſtan auront comme les autres 10 pieds de long, enſorte que trois hommes y occuperont 4 pieds & demi, & leur force moyenne qui eſt au milieu de cette diſtance, ſe trouvera placée ſur la barre, à 7 pieds 9 pouces de l'axe du Cabeſtan, ce qui donne 93 pouces pour la diſtance de la force moyenne des trois hommes à l'axe du Cabeſtan.

La force des trois hommes ſera évaluée 75 livres; & par conſéquent 15 pouces, rayon du Cabeſtan cylindrique, ſera à 93 pouces, diſtance de la force moyenne à l'axe de ce Cabeſtan, comme 75 livres, force des trois hommes, eſt à 465 livres, qui exprime le poids qu'ils peuvent tenir en équilibre.

Trois hommes feront donc 465 livres de force à chaque barre de ce Cabeſtan, tandis que quatre en font 466 au Cabeſtan ordinaire, ce qui approche beaucoup de l'égalité; ainſi on peut dire que trois hommes font autant de force à ce Cabeſtan, que quatre peuvent en faire au Cabeſtan ordinaire.

Il faut rappeller ici qu'on a dit qu'il y aura deux Cabeſtans, qui s'aideront à tirer le poids, & ſe partageront les efforts. Ce ne ſera que dans certains momens, où un ſeul Cabeſtan ſera chargé de tout le poids; & comme ce n'eſt que pour quelques inſtans, & que pendant le tems ſeulement qui eſt néceſſaire pour ſoulever la corde qui ſera parvenue au bas du fuſeau, il eſt probable, & je ſuis même perſuadé, qu'il ſuffiroit de placer deux hommes à chaque barre du Cabeſtan que je propoſe, pour que cette manœuvre ſe fît, ſans exiger de grands efforts de leur part; & de cette façon, il ne faudroit pas plus de monde pour les deux Cabeſtans, qu'il en faut aujourd'hui pour faire cette manœuvre avec un ſeul: d'autant mieux qu'il faut conſidérer, que la manœuvre à laquelle on employe le plus ſouvent le Cabeſ-

tan, eſt lorſqu'on eſt obligé de lever l'ancre; au moins eſt-ce cette manœuvre qui exige les plus grands efforts; mais ces efforts ne ſont pas bien grands, quand il n'eſt queſtion que de ſoulever l'ancre; ils ne ſont bien conſidérables que quand il eſt queſtion de faire laiſſer l'ancre, c'eſt-à-dire, quand il faut arracher le fer enfoncé dans une terre tenaſſe, ou embarraſſé ſous quelque roche dure & peſante, (comme dans la *Figure* 2;) & comme cela n'arrive que dans un certain moment de la manœuvre, que quand on eſt à pic, c'eſt-à-dire, que quand l'ancre eſt à plomb ſous l'avant du navire, on prendra ſes meſures pour faire force ſur les deux Cabeſtans pendant ce moment pénible de la manœuvre; au moyen de quoi on enlevera l'ancre bien plus facilement, & on fera un effort bien plus conſidérable, quand même on ne mettroit que deux hommes ſur chaque barre des deux Cabeſtans, qu'on n'en fait aujourd'hui en y en mettant quatre. Mais encore une fois, ce n'eſt pas ordinairement ce qui manque, que les hommes dans les navires; & ſi deux Matelots ne ſuffiſent pas, rien n'empêchera qu'on n'en mette trois à chaque barre, & même davantage ſi l'on veut. *Fig.* 2.

On a ſuppoſé juſqu'à préſent, que les deux Cabeſtans étoient ſéparés, & qu'ils étoient placés ſur le même pont, l'un à l'avant, & l'autre à l'arriére du navire; mais il n'importe pas qu'ils ſoient placés en un lieu plutôt qu'en un autre, & l'on choiſira le plus commode; il eſt même certains petits bâtimens où l'on n'a pas aſſez d'eſpace pour y établir deux Cabeſtans ſur un même pont; mais il y en aura toujours aſſez pour les poſer l'un ſur l'autre, & cela produira préciſément le même effet, ſi l'on obſerve les mêmes proportions. On va voir dans un moment que ce double Cabeſtan, n'occupera pas plus d'eſpace que le Cabeſtan ordinaire: pour en juger mieux, il eſt à propos de remarquer de quelle maniére ſont faits les Cabeſtans ordinaires; en voici la deſcription.

AABCCDE, (*Figure* 5.) n'eſt qu'une ſeule piéce de *Fig.* 5.

bois qui sert d'axe, sur lequel tourne le Cabestan. Lorsqu'on ne trouve pas de piéce d'une longueur suffisante, on l'emmortoise avec une seconde, de sorte que cela fait le même effet, que si ce n'étoit qu'une seule piéce. Ce Cabestan a, comme on peut le voir dans la figure, deux étages, qui sont séparés par les bordages du Pont *PP*: mais on conçoit aisément qu'il tourne tout entier, soit qu'on introduise les barres ou manivelles dans les trous *CC*, qui sont dans la tête d'enbas dans l'entrepont, ou qu'on les introduise dans les trous *AA*, qui sont dans la tête d'enhaut sur le pont.

La partie supérieure *AAB*, est extérieure sur le pont; & l'autre partie *CCDE*, est dans l'entrepont; toute la Machine est retenue dans des trous ronds, pratiqués dans chacun des deux ponts, dans lesquels l'axe passe, & peut tourner librement. L'extrémité inférieure porte sur une savate, ou carlingue *G*, dans laquelle on place un crapaud de cuivre, sur lequel porte tout le Cabestan, au moyen d'un bouton de fer que l'on met au bout *E*.

On fait les Cabestans à deux étages, pour deux raisons: 1°. Parce qu'on peut y placer un plus grand nombre de barres, & y employer plus de monde. 2°. Parce qu'on se sert indifféremment de l'une ou de l'autre des deux fusées, selon que la manœuvre en est plus à portée : mais dans les petits navires, quoique le Cabestan soit tel qu'on vient de le décrire, c'est-à-dire, quoiqu'il ait deux étages, on ne se sert jamais que du premier. C'est dans la cloche supérieure *AAB*, qu'on introduit les barres sur lesquelles on place les hommes destinés à cette manœuvre; la partie inférieure *CCD*, qui est sous le gaillard d'arriére, n'y est d'aucun usage; ce n'est que pour la forme qu'elle est placée là; ce n'est absolument que par conformité avec les grands vaisseaux; car on ne garnit jamais de barres cette fusée, quoiqu'on pût le faire sans difficulté.

Voilà quel est le Cabestan ordinaire; or si l'on fait ensorte que ces deux fusées, dont l'une est inutile, & ne sert uniquement qu'à la décoration, puissent tourner séparément

l'une de l'autre, on aura un double Cabeſtan très-propre aux manœuvres dont on vient de parler. Il me paroît qu'on peut y réuſſir aiſément, & rendre cette Machine très-ſolide. Voici quelle eſt mon idée.

MDAABC, (*Figure 6.*) ſera la premiére piéce du Cabeſtan, que l'on placera dans le lieu le plus bas, où l'on eſt accoutumé de placer cette Machine, c'eſt-à-dire, entre les deux ponts. Cette premiere piéce ne différe pas beaucoup du Cabeſtan ordinaire à un étage ; on a obſervé ſeulement de le faire cylindrique, & il n'y a de plus que la fléche *MD*, qui ſera de la longueur d'un pied & demi, ou deux pieds environ ; au haut de cette fléche, il y aura un bouton de fer *M*. Cette fléche & l'axe *BC*, doivent être faits d'une ſeule piéce de bois, s'il eſt poſſible, ou tellement emmortoiſés enſemble, que l'un ne puiſſe tourner ſans l'autre : il ſeroit encore mieux que cette fléche fût d'un fer bien poli, pour diminuer le frottement. *Fig. 6.*

FFGG, (*Fig. 7.*) ſera la ſeconde piéce du Cabeſtan, que l'on placera ſur la premiere : cette piéce doit avoir un petit rebord ou bourlet *GG*, de 2 à 3 pouces ; elle ſera creuſée dans le centre *KLL*, de façon que la fléche *MD*, puiſſe y entrer, & s'y mouvoir facilement. *K* eſt un crapaud de cuivre au fond du trou, dans lequel entrera le bouton de fer *M*, lorſque les deux piéces ſeront poſées l'une ſur l'autre, comme on peut le voir dans la *Figure* 8. où ces deux piéces ſont en place l'une ſur l'autre. *Fig. 7.* *Fig. 8.*

On voit que la premiere piéce eſt placée ſolidement dans l'entrepont, où elle eſt retenue par un trou *EE*, fait exprès dans les bordages du pont, & appuyée ſur une carlingue *H*, qui a un crapaud de cuivre, ſur lequel tourne la premiere piéce du Cabeſtan, au moyen d'un bouton de fer *C*, placé au bas de ſon axe. Quant à la ſeconde piéce, voici comment elle eſt arrêtée. *RR* eſt une grande écoutille, par où peut paſſer aiſément cette piéce ſupérieure du Cabeſtan, quand elle eſt ouverte. On a dit que cette piéce doit avoir un rebord de deux à trois pouces, qui forme une eſpéce

de bourlet ; ainſi quand les deux piéces ſeront une fois miſes en place l'une ſur l'autre, on fermera l'écoutille avec un
Fig. 8. 9. porteau bien fort *QQ*, (*Fig. 9. & 8.*) qui aura un trou rond dans le milieu, aſſez grand pour que la piéce ſupérieure puiſſe y tourner ſans obſtacle, mais aſſez petit ce-
Fig. 7. 8. pendant pour que le bourlet *GG*, (*Fig. 7. & 8.*) empêche cette piéce de pouvoir ſe dégager, ou même d'être ſou-
Fig. 8. levée par quelque accident, ainſi qu'on peut le voir dans la *Figure* 8. qui repréſente la coupe ou profil de cette Machine. Le porteau ſera retenu par pluſieurs coignets de bois *TT*, qui s'engageront dans de bonnes & fortes mains de fer *SS* ; ce qui achevera de rendre cette Machine très forte & très-ſolide, en lui conſervant cependant l'avantage d'être facilement démontée & remontée au beſoin.

Au moyen de cela, la partie ſupérieure pourra tourner indépendamment de l'inférieure ; & n'y ayant rien qui les empêche de ſe mouvoir enſemble, ou ſéparément, toutes les fois qu'on voudra, on pourra par le ſecours de cette Machine, faire toutes les manœuvres qu'on voudra : il ne ſera queſtion que de ſe ſervir des deux fuſeaux de ce double Cabeſtan, de la même façon que l'on feroit, ſi les deux Cabeſtans étoient ſur le même pont ; ce qu'on fera fort aiſément, ſi l'on donne aux cordages que l'on employera, une direction convenable, & cela ne dépend que de quelques poulies placées à propos. Je crois qu'il eſt inutile de s'étendre davantage là-deſſus ; ce qui a été dit, fait aſſez ſentir de quelle façon on pourra diſpoſer ſa manœuvre, pour qu'elle ſe faſſe avec toute la diligence poſſible.

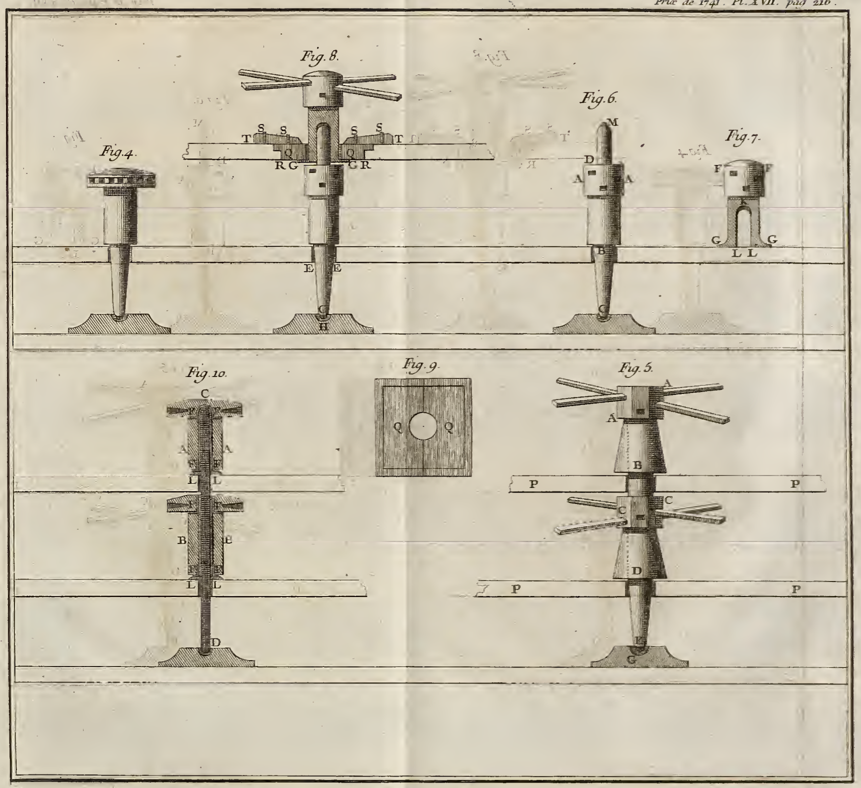
On pourroit encore, & peut-être même avec plus de ſuc-
Fig. 8. cès, faire enfiler les deux Cabeſtans *AA* & *BB*, (*Fig.* 10.) par un grand per ou axe de fer *CD*, bien poli, autour duquel ces deux Cabeſtans tourneroient librement au moyen des boucles de cuivre *FF*, que l'on placera au haut, & au bas de chaque Cabeſtan, pour qu'il ne ſe faſſe de frottement que dans ces parties là. *LL* ſont des couſſinets de fer de figure conique, ſur leſquels portent les Cabeſtans, pour

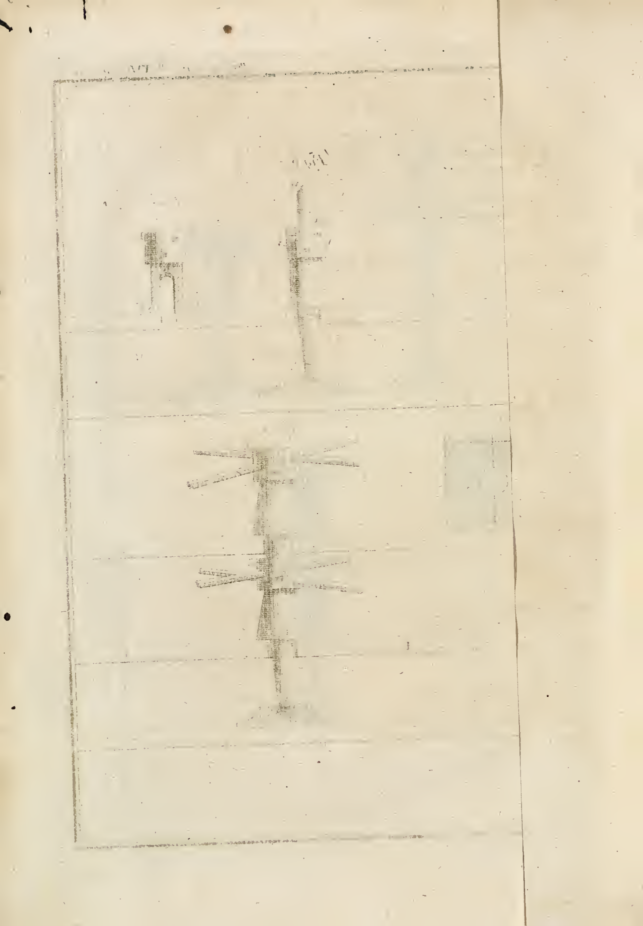
qu'il

qu'il s'y faſſe moins de frottement que ſur le pont. On voit que la tête de ces Cabeſtans doit être faite comme celle du Cabeſtan à l'Angloiſe, (*Fig. 4.*) ſans quoi on ne pourroit pas y introduire les barres : on en voit le profil, (*Fig. 10.*) Enfin on pourra s'y prendre de pluſieurs façons différentes, & l'on doit être aſſuré du ſuccès, pourvû qu'on ſe procure deux Cabeſtans qui puiſſent virer indépendamment l'un de l'autre. *Fig. 4.* *Fig. 10.*

Nos Obſervations ſe réduiſent donc, 1°. à faire les Cabeſtans cylindriques, & 2°. à en employer deux pour chaque manœuvre, où l'on eſt obligé de ſe ſervir de cette Machine. On pourra dans les grands vaiſſeaux, les laiſſer dans la place qu'ils occupent, ou même dans un lieu plus commode, ſi on le juge à propos. Il ſuffit de les faire d'égale groſſeur, ainſi qu'on l'a vû, (*Figure 2.*) A l'égard des petits navires où l'on eſt obligé d'économiſer l'eſpace, on pourra faire cette Machine ſur les modéles qu'on a donnés, (*Fig. 8, & 10.*) au moyen de quoi, on fera facilement toutes les manœuvres du Cabeſtan, & avec toute la diligence poſſible. *Fig. 2.* *Fig. 8. 10.*

F I N.


Fig. 8.
S
S
S
S
T
T
Q
Q
R G
G R
E
E
C
H
Fig. 4.
Fig. 6.
M
D
A
A
B
C
Fig. 7.
F
F
K
G
G
L L
Fig. 10.
C
A
A
L
L
B
B
L
L
D
Fig. 9.
Q
Q
Fig. 5.
A
A
B
P
P
C
C
D
P
P
G



RECUEIL
DE DIFFERENTES EXPERIENCES, ESSAIS ET RAISONNEMENS SUR LA MEILLEURE CONSTRUCTION
DU CABESTAN;

Par rapport aux uſages auſquels on l'applique dans un Vaiſſeau.

Piece qui a concouru au Prix de l'Académie Royale des Sciences.

Quando non poteſt fieri id quod vis, id velis quod fieri poſſit.

Par M. FENEL, Chanoine de Sens.



RECUEIL
SUR LA
MEILLEURE CONSTRUCTION
DU CABESTAN.

Quando non potest fieri id quod vis, id velis quod fieri possit.

JE divise cet Essai en trois Parties.

Dans la *premiere*, après avoir décrit en peu de mots le Cabestan & ses avantages, j'expliquerai la maniere dont on s'en sert actuellement, principalement par rapport aux ancres; & je détaillerai les inconvéniens connus de cette Méthode, ausquels je joindrai quelques nouvelles considérations: je déterminerai enfin quel est le point précis de la difficulté du Problême qui est à résoudre, & je tâcherai de faire voir dans quelles bornes on est resserré pour en venir à bout, desquelles il est absolument impossible de sortir.

Dans la *seconde Partie*, (qui n'est que *préparatoire* à la troisiéme, & dont j'aurois pû, absolument parlant, supprimer une grande portion,) j'explique la nature de la courbe *Helice*, autant que je crois que mon sujet le demande; puis je fais application de ces principes à l'*enroulement des Cordes sur un treuil* ou *essieu perpendiculaire:* & je propose une Machine nouvelle pour joindre invinciblement le ca-

ble de l'ancre avec le cordage du Cabeſtan, & pour éviter par-là de ſe ſervir des Garcettes.

Dans la *troiſiéme Partie* enfin, (qui eſt proprement la ſeule eſſentielle,) j'explique différentes Méthodes que j'ai inventées, & toutes éprouvées, pour éviter les inconvéniens propoſés dans le Problême; à quoi j'ai joint en différens endroits quelques réfléxions & remarques, notamment ſur un moyen facile d'augmenter conſidérablement le nombre des hommes qui virent ſur le Cabeſtan, à la partie du virage qui a le plus de circonférence.

PREMIERE PARTIE.

LE Cabeſtan des vaiſſeaux eſt un eſſieu de bois, de forme à peu près cylindrique, qui eſt poſé verticalement, & qui étant arrêté fermement en pluſieurs endroits, tourne ſur lui-même avec facilité, au moyen de pluſieurs barres que l'on y emmanche horizontalement, & que pluſieurs hommes pouſſent circulairement.

Voyez ci-après ſur la partie de cet eſſieu qu'on appelle *cloche*.

On voit par cette définition (qui eſt très-générale,) que je veux donner une notion qui convienne à toutes ſortes de Cabeſtans: ſoit *immobiles*, ſoit *fixes*; ſoit *volants*, ſoit *mobiles*; ſoit *grands* ou *doubles*; ſoit *petits* ou *ſimples*; ſoit que les barres y ſoient en plus grand ou en moindre nombre; ſoit que ces barres ſoient à l'Angloiſe ou non, (*a*) &c.

L'uſage du Cabeſtan eſt pour tirer ou lâcher des fardeaux conſidérables par le moyen de la corde qui s'enroule ou ſe déroule ſur ſon arbre, treuil, axe, eſſieu, tambour, cloche, fuſée; ce ſont tous termes ſynonymes que j'employerai indifféremment.

(*a*) Les barres à l'Angloiſe, ſont celles qui ne traverſent pas la tête du Cabeſtan de part en part, mais qui ne ſont proprement que des demi-barres qu'on emmanche dans une tête faite exprès, & qui eſt plus groſſe que la cloche du Cabeſtan.

L'avantage de cette Machine consiste 1°. en sa simplicité, qui ne peut être plus grande qu'elle est dans son espéce; d'où il suit qu'elle est sujette au moins d'accident qu'il est possible.

2°. En sa situation verticale, qui étant conforme à la position la plus avantageuse que les fibres du bois puissent avoir pour ne pas souffrir d'effort, la rend très-durable & très-solide.

3°. Enfin, principalement par rapport à la manœuvre, en ce que l'on peut augmenter la force motrice de cette Machine à volonté, en allongeant les barres tant qu'on le veut; & en mettant outre cela dans certains Cabestans de doubles ou secondes barres, dans le prolongement de ces Cabestans; par le moyen de quoi on double toute la force qu'on avoit déja. (*a*)

La manœuvre ordinaire du Cabestan estt elle, principalement pour les ancres:

On prépare un cordage d'une grosseur convenable, en y faisant exprès des grosseurs de distance en distance, (au moyen d'un entrelassement de fil de carret;) cela s'appelle des *fusées;* on garnit cette corde sur la partie supérieure du tambour ou treuil du Cabestan destinée à cet effet, & qu'on appelle *Cloche*, parce qu'elle est un peu plus grosse par le bas que par le haut, (ensorte qu'elle forme un cône tronqué en cet endroit;) on lui fait faire un tour & demi sur la Cloche, & même jusqu'à deux tours & demi; puis on joint les deux bouts de cette corde ensemble, (ce qu'on appelle *aiguilleter*,) en telle sorte que cette corde puisse d'un bout à l'autre successivement rouler aisément autour de la cloche, sans qu'il y ait jamais plus de deux tours & demi de cette corde sur cette cloche; car tandis qu'un côté s'enroule, l'autre se déroule, & ainsi toujours. Les choses en cet état, on attache en plusieurs endroits le cable qui porte le fardeau qu'on veut attirer (*ou lâcher*) avec les fusées de la

(*a*) Ces avantages ne se trouvent pas dans le virevaut horizontal, dont on ne peut allonger les barres à volonté.

branche inférieure de la tournevire, & cela au moyen de certaines cordes qu'on appelle *garcettes*, que plusieurs hommes destinés à cela employent à joindre le cable & la tournevire ensemble, & à les tenir assujettis l'un contre l'autre à force de mains, tant qu'il est nécessaire; puis on tourne le Cabestan, qui attirant à soi la Tournevire, améne en même tems le cable & le fardeau, (ou les lâche selon le sens dans lequel on tourne.) A mesure que l'opération avance, les nœuds des garcettes approchent du Cabestan, & s'éloignent du point d'obstacle; il faut donc faire de nouveaux nœuds qui tiennent unis ensemble le cable & la tournevire, le plus près qu'il est possible de ce point d'obstacle; pour cet effet, un de ceux qui tiennent les garcettes les plus prochaines du Cabestan, lâche son nœud, & va porter ce nœud au-delà de tous les autres, ce que chacun d'eux fait à son tour pareillement; ainsi tous les nœuds successivement changent de place à proportion que la tournevire attire le cable à lui; ainsi par cette opération alternative du changement des garcettes & des nœuds, & par l'enroulement & le déroulement successif des parties de la tournevire sur la cloche, le fardeau est attiré autant qu'on en a besoin.

REFLEXIONS SUR CETTE MANŒUVRE.

Il est évident que cette manœuvre est très-ingénieuse & subtile; mais c'est cette subtilité même, qui fait voir que ce n'est pas la premiere qui ait été mise en usage à cet égard: & que c'est un perfectionnement de quelque autre méthode plus grossiere & plus difficile en même tems.

En effet l'idée la plus simple est sans doute d'enrouler la corde qui tire le fardeau autour du treuil, & cela jusqu'à ce qu'on ait amené le fardeau au point où on le veut avoir; & non pas d'employer deux cordes, l'une qui tire le fardeau, & l'autre qui attire celle-ci: d'ailleurs il ne se présente pas d'abord à l'esprit d'imaginer une sorte de corde qui soit *perpétuelle*, pour ainsi dire, & qui tourne sans cesse

autour

autour du même treuil, enforte que la partie qui eft deffus le treuil, s'en éloigne enfuite, & y revienne enfin par une fucceffion continuelle. C'eft donc ici un perfectionnement; mais il eft important de fçavoir ce qui l'a caufé.

C'eft qu'on a vû fans doute que les cables qui portent immédiatement le fardeau, font trop gros pour être enroulés autour d'un treuil ordinaire; il falloit pour remédier à cela, donner à ce treuil un diamétre monftrueux, & diminuer d'autant par conféquent la force des leviers; enfuite quand la corde étoit parvenue en s'enroulant jufqu'au bas du treuil, on ne pouvoit continuer l'opération qu'en *rendoublant* le cordage, & en l'enroulant fur les tours de cordes déja garnies autour du treuil; cela ne pouvoit fe faire fans faire remonter la corde, ce qui en bien des occafions ou eft abfolument impoffible, ou ne peut fe faire qu'avec un nouvel effort: enfin quand on l'eût pû faire, on n'auroit gagné par-là autre chofe, finon qu'on eût augmenté le diamétre du cylindre, en multipliant les cordes les unes fur les autres; & l'on eût par-là diminué la force, qui eft la chofe dont on a le plus de befoin en cette occafion: de quelque maniere donc qu'on s'y prît, l'ancienne opération avoit des inconvéniens très-grands; il a donc fallu imaginer celle qui eft en ufage aujourd'hui, & à laquelle néanmoins il eft sûr qu'on n'eft venu que par dégrés.

Cette opération moderne (quelque ingénieufe qu'elle foit) a néanmoins quelques inconvéniens.

Premier programme de MM. de l'Académie Royale des Sciences.

1°. Le principal eft que dans les fréquentes manœuvres où l'on fe fert du Cabeftan, le cordage attaché au poids qu'on veut lever ou traîner, fe dévide fur l'effieu de cette Machine, de maniere qu'à chaque tour ce cordage defcend de toute fa groffeur, & qu'après plufieurs tours il parvient au bout du Cabeftan, & qu'il faut le rehauffer (ou *choquer*) pour éviter qu'il ne s'embarraffe; par-là on ne fçauroit fe fervir du Cabeftan, qu'on ne foit obligé de *choquer* plufieurs fois, & à chaque fois qu'on *choque*, il faut arrêter le mouvement de la Machine; prendre des *boffes* (ou *treffes*,

&c.) ſur le cordage; *dévirer* le Cabeſtan, pour *mollir* (ou lâcher) la partie du cordage qui eſt ſur l'eſſieu, relever le cordage, le roidir de nouveau, & enfin ôter les *boſſes* pour remettre le Cabeſtan en état; cette opération ſouvent répetée, emporte beaucoup de tems, & dans pluſieurs rencontres un tems précieux, & elle fait toujours perdre une partie de l'effort déja fait.

Second programme de la mêmeAcadémie.

Ce ſont ces inconvéniens auſquels il s'agit de remédier; & c'eſt ce qu'il faut faire d'une maniere qui n'ôte rien à la ſolidité & à la ſimplicité du Cabeſtan; & par quelque invention, qui ſoit en même tems expéditive, & d'une pratique tout autrement dégagée d'embarras & à l'abri de tout accident, qu'elle ne devroit être ſur terre, où l'on a le loiſir, l'eſpace & les commodités néceſſaires pour y remédier: & en cela il faut avoir égard aux diverſes circonſtances où l'on ſe trouve ſur un vaiſſeau, & aux hommes qui en exécutent la manœuvre.

Nouveaux inconvéniens.

S'il étoit permis d'ajouter quelque choſe à ces inconvéniens qui réſultent de la manœuvre ordinaire du Cabeſtan, je dirois qu'il y en a encore quelques-uns qui n'ont point été touchés par les illuſtres Auteurs du problême, ſçavoir:

2°. Que la manœuvre des garcettes (quoiqu'ingénieuſe & aſſez ſimple) demande le travail de pluſieurs hommes, qui ſont obligés d'y employer toutes leurs forces, & cela pendant tout le tems de l'opération, ce qui doit être extrêmement pénible, ſur-tout quand l'équipage eſt foible. Outre cela cet emploi des garcettes oblige à faire des fuſées ou groſſeurs ſur la tournevire, ce qui la rend moins traitable & plus difficile à dévider. (*a*)

3°. Que la hauteur des barres du Cabeſtan, étant néceſſairement proportionnée à celle de l'eſtomac d'un homme

(*a*) Joignez à ces difficultés, qu'il eſt extrêmement difficile de ſe ſervir des garcettes, quand le vaiſſeau ſouffre de grands roulis ou un tangage conſidérable; car alors les hommes balancés en divers ſens, ne peuvent manquer de changer de ſituation fréquemment, enſorte qu'ils ne peuvent pas employer toutes leurs forces à tenir les garcettes, (quoique cela fût néceſſaire,) leur ſituation étant d'ailleurs gênée en cette opération, &c.

de moyenne taille, (afin que les Matelots soient dans la situation la plus avantageuse, pour employer toutes leurs forces à virer;) il s'ensuit néceſſairement que la cloche du Cabeſtan doit avoir très-peu de hauteur; ce qui fait qu'on eſt obligé de *choquer* plus ſouvent, parce que le cordage arrive bien plutôt à l'extrémité inférieure de la cloche.

4°. Il y a un dernier inconvénient, qui réſulte dans la levée des ancres, du frottement très-conſidérable que ſouffre le cable dans l'*écubier*.

Ce dernier ne regarde pas proprement à la vérité le Cabeſtan, & l'on pourroit remédier à l'un, ſans le faire à l'autre; ainſi cela n'eſt pas (à la rigueur) de l'objet que j'ai entrepris; j'ai donc réſolu de n'en pas traiter dans ce diſcours: je me contenterai ſeulement de remarquer que l'expérience réitérée, m'a appris qu'un poids pendant au bout d'une corde, (laquelle ſouffre des frottemens dans l'infléxion qu'elle fait pour aller gagner la Machine motrice,) eſt bien plus difficile à enlever, que le même poids dans toute autre ſituation, comme quand il eſt traînant, par exemple, ſur un plan horiſontal. La différence de ces deux cas eſt bien plus grande qu'on ne le penſe d'ordinaire; mais je ne puis pas entrer dans tout le détail de cela.

Voilà pour ce qui regarde les difficultés de l'emploi du Cabeſtan, par rapport aux ancres: à l'égard des autres uſages du Cabeſtan, tels que ceux de lever les mâts de hune, & les grandes vergues, &c. la manœuvre en eſt différente, parce qu'il s'agit d'enlever ces poids par le moyen des *palans*, dont on met le *garand* à l'un des Cabeſtans, particuliérement au petit, ou ſimple, & alors il faut que le Cabeſtan tire de bas enhaut, c'eſt-à-dire, qu'il amene une corde qui paſſe dans un lieu plus élevé, ce qui n'eſt pas ſujet aux inconvéniens ci-deſſus, quoiqu'il faille toujours concevoir que la corde parvient enfin à l'une des extrémités de l'eſſieu du Cabeſtan; ce qui forme un embarras dont on ſentira tout à l'heure l'entiére étendue. On parlera à la fin de cet écrit, de ce qu'on peut faire de plus convenable, par

rapport à ces objets particuliers, & bien moins importans que ce qui regarde la levée de l'ancre.

Il faut l'avouer ingénuement, voilà un des plus difficiles problêmes qui ait jamais été propofé ; auffi faut-il convenir que fi l'on peut parvenir à le réfoudre, cette réfolution fera d'une très-grande utilité.

Quand on ne feroit pas d'ailleurs convaincu de la difficulté de cette queftion, par des circonftances étrangeres au fonds ; il fuffiroit pour s'en convaincre, de faire cette réflexion très-fimple, que je mets ici, dans la vûe de faire fentir en peu de mots, le point précis dans lequel eft tout l'embarras.

Point précis de la difficulté de ce problême.

C'eft que quelque Machine qu'on employe, quelque addition qu'on faffe au Cabeftan, (car il eft trop fimple pour qu'on en puiffe rien retrancher,) quelque nouvelle forme qu'on donne à fon Treuil, en un mot de quelque invention qu'on fe ferve ; il faudra toujours fe fervir d'un effieu perpendiculaire, autour duquel s'enroule un cordage ; & ainfi on ne pourra jamais empêcher que ce cordage n'arrive enfin à une des extrémités (foit inférieure, foit fupérieure) de cet effieu ; ce qui conftitue effentiellement aujourd'hui la néceffité du *choc*.

Comme cette difficulté eft fondée fur l'effence même de la Machine qu'il faut employer, & que d'ailleurs les avantages du Cabeftan (énoncés ci-devant à la page 1, & 2.) font trop grands pour qu'on puiffe y renoncer, en conftruifant une Machine fur une idée toute différente de la fienne ; il faut convenir que l'on fe trouve renfermé dans des bornes très-étroites pour la folution du problême.

En effet fi on divife (comme on le doit) la force qu'on peut appliquer à la Machine, en *force utile*, & en *force fuperflue* ; & qu'on appelle du nom de la *premiere*, la force qui eft réellement employée fans aucune perte à mouvoir le fardeau ; & qu'on nomme *fuperflue* celle qui n'eft employée qu'à furmonter le frottement, ou l'effet de quelque mauvaife conftruction de la Machine, on verra que toute la force

du Cabeſtan eſt utile, ſinon en deux points ; c'eſt-à-dire, le frottement dans les écubiers, & l'arrangement irrégulier des cordes ſur le Treuil. (*a*) D'où il s'enſuit que hors ces deux articles, qui ſont (à parler exactement) étrangers à l'eſſence du Cabeſtan, il n'y a rien à perfectionner dans cette Machine ; car ſi l'on ſe propoſoit d'y donner une plus grande force réelle, (ſans augmenter la puiſſance ou force mouvante, s'entend,) ce ne pourroit être qu'en lui faiſant perdre à proportion du tems utile, qui eſt une choſe trop précieuſe ici pour en rien diminuer.

Si nous raiſonnons de même à l'égard du tems qu'il faut employer au jeu de la Machine, & qu'on le diviſe en *tems utile*, uniquement employé à lever le fardeau, & en *tems ſuperflu*, occupé à ôter les obſtacles qui empêchent la Machine de tourner ſans interruption. On trouvera pareillement que le tems ſuperflu ſe réduit au *choc*, & à tout ce qui s'enſuit, & que tout le reſte eſt utile ſans aucune diminution. Or ce choc ne peut pas être ôté par une nouvelle conſtruction du Cabeſtan, comme il a été prouvé ci-devant ; puiſqu'il faut néceſſairement que la corde parvienne à une des extrémités de l'eſſieu, dans un tems donné.

Il faut donc renoncer à l'idée de faire une nouvelle Machine, eſſentiellement différente de l'ancienne ; comme celle-ci eſt ſouverainement ſimple, la compoſition qui ſe trouveroit dans l'autre, la rendroit toujours d'un moindre effet, à proportion qu'elle ſeroit plus compoſée, (ſelon un axiome reçu dans les Méchaniques ;) d'ailleurs cela la rendroit plus fragile, & ſujette à plus d'accidents, auſquels il ſeroit plus difficile de remédier, qu'à ceux qu'on a voulu éviter en propoſant le problême : enfin cette Machine plus compoſée tiendroit, ſelon toutes les apparences, plus de place, ce qui eſt ſouverainement précieux dans les vaiſſeaux ;

(*a*) J'ai déja dit que je ne voulois point entrer dans la queſtion du frottement dans les écubiers, comme étant étrangere à mon ſujet ; à l'égard de l'arrangement irrégulier des cordes ſur le treuil, j'en dirai dans la ſeconde Partie tout ce que je crois néceſſaire.

on ne peut s'empêcher de mettre dans le circuit néceſſaire pour le virage dans l'entrepont, des coffres, des canons, &c. qu'il faut ôter avec bien du travail dans la manœuvre du grand Cabeſtan ; que ſeroit-ce s'il falloit avoir une Machine plus grande ? qui étant fixe, occuperoit un terrain deſtiné à d'autres choſes, ou qui étant mobile, ne pourroit pas être déplacée & replacée ſans un extrême embarras.

But qu'il faut ſe propoſer dans la ſolution du problême.

Limites préciſes dans leſquelles on ſe trouve renfermé.

Il faut donc s'en tenir à trouver, non pas une nouvelle Machine, mais quelque nouvelle manœuvre plus ſubtile que l'ancienne ; qui donne le moyen de pouvoir ſuppléer au choc, par un tour de main qui puiſſe mettre en ſa place quelque choſe qui en tienne lieu ; ou bien quelque invention par où le choc ſe faſſe (pour ainſi dire) de ſoi-même ; ou bien une maniére pour donner le tems de choquer ſans diſcontinuer le virage ; ou enfin quelque adreſſe, qui au lieu de tous ces embarras du choc, pluſieurs fois répétés dans la méthode vulgaire durant une ſeule & même opération, ſubſtitue une ou deux interruptions de virage ſeulement, dont chacune ſera d'un tems très-court.

Voilà les idées que je me ſuis propoſées, que je m'en vais expoſer, après avoir averti que je n'en expliquerai aucune, que je ne l'aye éprouvée en petit, & enſuite en grand, ſans y épargner la fatigue & la dépenſe ; j'y ai joint des moyens pour ſubſtituer au travail des garcettes une Machine fort ſimple & fort expéditive, qui ne demandera qu'un homme ou deux tout au plus, qui ne fatigueront aucunement, laquelle j'ai éprouvée auſſi : quant à la penſée qu'on pourroit avoir de réuſſir par une nouvelle forme de Treuil, je m'y ſuis beaucoup arrêté ; & non-ſeulement j'ai examiné ce point à fonds par la ſpéculation, mais je l'ai réduit en pratique, ayant fait faire des Treuils de toutes ſortes de formes imaginables, & les ayant éprouvés enſuite ; mais cela m'a convaincu qu'il falloit s'en tenir au Treuil purement cylindrique. J'avois même réſolu de mettre ici le détail de toutes ces épreuves infructueuſes ; mais je m'en ſuis déporté, ayant conſidéré que le problême ne conſiſtoit pas à réfuter les fauſſes idées

des autres, mais à propoſer quelque choſe de meilleur.

Il faut donc s'attacher uniquement à la forme cylindrique, pour le Treuil ; mais comme les cordes s'enroulent ſur ce Treuil par une courbe que l'on nomme *hélice* ; il eſt à propos que j'en diſe quelque choſe ici, ce que je ferai ſeulement entant que mon ſujet le requiert neceſſairement ; & pour cet effet je ne parlerai que des hélices tracées ſur des cylindres qui ſont droits ſur leurs bâſes.

SECONDE PARTIE.

L'*Hélice* en *général* eſt une ligne courbe, qui tourne autour d'un corps ſolide arrondi, ſans jamais rentrer en ſoi-même, & qui fait ſes circonvolutions ſelon une direction qui n'eſt pas parallele à la bâſe de ce ſolide.

L'hélice que j'appelle *réguliére*, eſt une ligne courbe, qui ſans jamais rentrer en ſoi-même, tourne avec uniformité autour d'un cylindre droit, ſelon une direction qui demeure toujours la même, laquelle n'eſt point paralleleà la bâſe du cylindre.

D'où il ſuit, 1°. Que chacun de ſes tours ou circonvolutions eſt toujours égal & ſemblable à chacun des autres tours, & que toutes ſes circonvolutions gardent toujours entre elles une même diſtance.

2°. Que des parties égales de cette courbe ſont toujours compriſes entre des paralleles à l'axe du cylindre, priſes ſur la ſuperficie de ce cylindre à volonté.

3°. Que des parties égales de cette courbe ſont encore toujours compriſes entre des portions égales du cylindre, coupé parallelement à ſa bâſe.

4°. Si à quelque point que ce ſoit de l'hélice, pris à volonté, on mene une tangente, laquelle ſoit prolongée indéfiniment ; cette tangente fera avec le plan (auſſi prolongé) de la bâſe du cylindre, un angle toujours égal à l'angle

que sera sur ce plan la tangente de tout autre point de la même hélice.

5°. Les sinuosités ou courbures de cette ligne, sont partout de même nature.

6°. Si l'on veut imaginer facilement la génération de cette courbe, il faut concevoir un cylindre droit, auquel soit contiguë verticalement une ligne ou régle immobile ; que l'on conçoive ensuite que ce cylindre se meut également, & uniformément sur son axe ; & qu'en même-tems un point de cette ligne ou régle, monte ou descende sur elle par un mouvement uniforme ; la trace de ce point sur le cylindre tournant, formera la courbe hélice, que je nomme *réguliére.*

7°. D'où il s'ensuit que selon qu'on concevra le mouvement de ce point plus lent ou plus prompt, par rapport à celui de la rotation du cylindre sur son axe, on concevra que l'inclinaison de l'hélicesera différente sur la bâse du cylindre ; c'est-à-dire, qu'elle sera plus inclinée quand le mouvement du point sera moindre, relativement que celui du cylindre ; & au contraire, &c. Ensorte que si le mouvement du point devenoit infiniment petit, il décriroit un vrai cercle ; & qu'au contraire si celui du cylindre devenoit nul, le point décriroit une ligne droite parallele à l'axe, sur la superficie du cylindre.

8°. D'où il s'ensuit qu'il peut y avoir une infinité (je dis *une infinité*) d'hélices de différentes natures, sur un seul & même cylindre, parce que le mouvement de ce point & du cylindre, peuvent être combinés ensemble d'une infinité de maniéres diverses.

9°. Et en joignant cette vérité avec l'article 4. ci-dessus, il est clair que si l'on mene une ligne droite qui touche en quelque endroit que ce soit, la superficie d'un cylindre, cette ligne sera la tangente de quelque point d'une hélice possible, dont l'inclinaison de cette tangente à l'horison, constituera la différence d'avec toutes les autres hélices.

10°. Par tout ce que je viens d'exposer, on voit que si l'hélice

l'hélice *ABbH Fig.* 1. eſt donnée dans le cylindre *AFED*, *Fig.* 1.
& que l'on prenne ſur la ſuperficie du cylindre, la parallele *BC* à l'axe de ce cylindre, laquelle ſoit indéfiniment proche de *A*, origine de l'hélice, & qui ſoit entre un point du circuit de la bâſe *ACcD*, & un point de l'hélice même ; ſi enſuite on prend une autre ligne *bc*, auſſi parallele à l'axe, en quel point on voudra nommé *c* du circuit de la bâſe, & que cette ligne aille joindre l'hélice au point *b*, on aura la proportion ſuivante : Comme l'arc *AC*, eſt à la ligne *BC* : ainſi l'arc *ACc*, eſt à la ligne *bc*. Donc *AC*, *CB* étant conçûes comme infiniment petites, & par conſéquent *AC* étant droit, on en déduira aiſément l'élement de cette courbe, qui ſuppoſe la rectification du cercle, nommant *AC*, x; & *BC*, a; & *AB*, y; on aura toujours $y = \sqrt{x^2 + a^2}$, pour l'équation de la courbe hélice réguliére.

11°. Par tout ce qui vient d'être dit ſur la nature de cette courbe, il eſt évident que par quelque point que ce ſoit de la ſuperficie d'un cylindre, il peut paſſer une infinité d'*hélices* réguliéres, différentes, c'eſt-à-dire, ſous toutes ſortes d'angles, & ſous toutes ſortes de directions ou d'inclinaiſons; excepté la direction verticale & l'horiſontale.

12°. J'appelle *hélice complette*, la révolution entiére d'une courbe tournée en hélice, autour du cylindre où elle eſt formée, enſorte que ſon premier & ſon dernier point, ſoient perpendiculairement l'un au-deſſous de l'autre, dans une même ligne parallele à l'axe du cylindre.

13°. Je l'appelle *continuée*, quand outre ce premier tour ou circonvolution, il y a quelque autre partie de cette courbe qui s'étend en deſſus ou en deſſous d'elle, dans le même cylindre, ſoit qu'elle s'étende peu ou beaucoup, dans l'un de ces ſens, ou dans tous les deux enſemble.

14°. Quand l'hélice eſt continuée, c'eſt une nouvelle hélice complette, qui recommence au-deſſus ou au-deſſous de celle-ci : & partant, cette continuation a la même nature & les mêmes propriétés que la complette, dont elle eſt la continuation ; ainſi on pourra appliquer à celle-ci la

même équation que nous venons de donner de cette courbe, ce qui se prouve ainsi. L'hélice réguliére correspond par sa génération à un cercle qui est la circonférence de la bâse du cylindre, où elle est engendrée; partant l'hélice continuée correspondra à un ou à plusieurs cercles paralleles, & semblables à celui de cette bâse; si maintenant on conçoit comme *rectifiés* tous ces cercles, ou leurs arcs, correspondants à une hélice continuée, & que l'on en compose une seule ligne droite, on en conclura cette analogie:

Comme le petit arc de cercle pris sur la circonférence de la bâse du cylindre, infiniment près du point de la naissance de l'hélice, est à la ligne droite parallele à l'axe du cylindre qui joint cet arc au point correspondant de l'hélice: de même la somme des cercles ou des arcs de cercles correspondans à l'hélice continuée, jusqu'à un point donné, est à la ligne droite menée de ce point donné, parallelement à l'axe du cylindre, jusques à sa bâse d'icelui.

15°. J'appelle *hélice redoublée*, celle qui a un nombre entier de tours ou circonvolutions sur son cylindre, sans aucune fraction.

16°. J'appelle un *cylindre capable* d'une *hélice redoublée*, le cylindre sur lequel une hélice donnée peut être enroulée précisément toute entiére sans aucun reste.

Application de cette théorie à des cordes enroulées sur un Treuil cylindrique perpendiculaire.

Maintenant pour faire application de cette Théorie à des cordes qui s'enroulent sur des Treuils cylindriques, j'observe:

1°. Que si l'on conçoit une corde actuellement enroulée uniformément & sans vuide autour d'un cylindre, l'attouchement de cette corde sur ce cylindre, tracera une hélice, qui sera par l'hypothése, *réguliére*.*

* Dans cette spéculation je regarde les cordes comme étant sans pésanteur, & je ferai ensuite les exceptions nécessaires par rapport à leur pésanteur, à leur

2°. Les cordes qui s'enroulent ſur un Treuil, peuvent être en deux circonſtances diverſes à l'égard de ce treuil; car ou elles traînent immédiatement après elles leur poids, qui s'approche à proportion du Treuil; ou elles paſſent le long de l'extrémité de quelque corps ſolide, où elles ſe coudent & ſe fléchiſſent, (ou ſe plient,) enſorte que le poids va alors directement & immédiatement vers cette extrémité, & que le coude (ou infléxion) de la corde devient à l'égard du virement du Treuil, l'obſtacle où ſe trouve la réſiſtance.

3°. Dans l'un & dans l'autre cas, la corde étant ſuffiſamment bandée par le poids qu'elle traîne ou qu'elle enléve, repréſente une tangente à la ſuperficie du treuil, dans le point où celui-ci fait effort pour attirer la corde.

4°. Et comme l'*enroulement* ſucceſſif de la corde ſur le treuil, la fait ou monter ou deſcendre le long de ce treuil, les diverſes ſituations que cela fait prendre à la corde, repréſentent une ſuite de tangentes ſur ledit treuil; enſorte que le point d'attouchement monte ou deſcend ſucceſſivement le long de la ſuperficie du cylindre, toujours dans une ſeule & même ligne droite, qui eſt parallele à l'axe du treuil, laquelle je nomme *la ligne des tangentes*.

5°. D'où il s'enſuit que la corde tendue, dans les diverſes ſituations qu'elle prend en montant ou en deſcendant ſur le treuil, reſte toujours dans le même plan, ſoit que le poids ſoit traînant & mobile, ſoit que l'obſtacle ſoit fixe: lequel plan paſſe par cette ligne parallele à l'axe du treuil, & par le centre de l'obſtacle fixe ou du poids traînant, ſelon les divers cas.

PROPOSITION.

Si l'on donne une corde qui ſoit préciſément de la longueur néceſſaire pour égaler toutes les circonvolutions d'une helice redoublée donnée, dont ſoit capable un cy-

courbure, à leur réſiſtance à être ployées; & auſſi par rapport à leur raccourciſſement dans la partie concave, & à leur allongement dans la partie convexe lors de leur enroulement.

lindre donné; si l'on attacle l'extrémité supérieure de cette corde à un point du sommet du cylindre; qu'ensuite ayant donné à cette corde toute l'extension dont elle est capable, l'on attache à l'autre bout un poids traînant & mobile, sur le plan prolongé de la bâse du cylindre, (lequel poids soit suffisant pour tenir la corde bandée, & qui suive exactement la corde à mesure qu'elle est attirée;) ensuite que l'on fasse tourner le cylindre sur son axe: Je dis, 1°. que cette corde en amenant son poids, sera toujours parallele à elle-même. 2°. Que cette corde s'enroulera exactement selon l'hélice redoublée donnée. Dans le cylindre *ABCD*, *Fig.* 2 soit conçue décrite l'hélice redoublée *EP*, *HGI*, *QM*, dont on ne voit que les parties tournées du côté du spectateur. Soit donnée la corde *EF* précisément égale à cette hélice redoublée, laquelle soit attachée en *E* au cylindre au point où la courbe commence, & que l'autre extrémité de cette corde soit en *F*, ensorte que l'exacte tension de cette corde fasse la ligne droite *EF*.

Fig. 2.

Concevons que la corde donnée est actuellement enroulée entiérement sans aucun vuide ni intervalle sur le treuil, ou colomne *ABCD*, on trouvera que cette corde l'entoure (par l'hypothése) depuis *E* jusqu'en *M*, & que par son attouchement sur le treuil, elle décrit sa courbe *EP*, *HGI*, *QM*: si maintenant on attache à l'extrémité *M* de cette corde un poids suffisant pour la tenir tendue, & qui soit mobile & traînant, & que l'on fasse mouvoir le cylindre uniformément afin de faire dérouler cette corde; si l'on conçoit en même tems que ce poids mobile, à mesure que cette corde se détortille, se meut uniformément sur la ligne *MF*, de *M* en *F*, précisément autant qu'il faut pour tenir cette corde tendue, on trouvera que cette corde dans toutes les situations qu'elle prendra depuis *M* jusqu'en *F*, en se déroulant, représentera des portions de la courbe développée & rectifiée, & sera précisément égale à cette portion: d'où il suit qu'en quelque point que ce soit de ce développement, on pourra appliquer à la partie développée

& rectifiée l'équation de la courbe, qui est $y = \sqrt{xx, + aa}$; ce qui montre que la corde développée sera toujours l'hypothenuse d'un triangle rectangle, dont les deux côtés sont toujours entr'eux en une même raison qui est donnée; & partant chacune de ces parties développées, sera parallele à toutes les autres parties développées; si maintenant après que cette corde aura été entiérement développée, & qu'elle aura pris la figure & la position de la ligne EF, on veut faire tourner le cylindre afin de l'enrouler de nouveau, son poids mobile étant toujours à son extrémité, elle s'enroulera sur ce cylindre par des dégrés semblables à ceux par lesquels elle a été déroulée, & repassera par les mêmes points en rétrogradant; elle aura donc dans tous les points de son enveloppement la même situation respective que dans ceux de son développement; & ainsi elle sera toujours parallele à elle-même dans cet enroulement: ce qu'il falloit démontrer en premier lieu. On peut démontrer la même chose par le lemme suivant.

LEMME.

Entre plusieurs hélices qui passent par le même point, la plus inclinée est la plus longue, & la moins inclinée est la plus courte.

Je juge superflu de mettre au long la démonstration qui procede de ce Lemme.

A l'égard de la seconde partie de la proposition; sçavoir que la corde dans ces circonstances s'enroulera exactement selon l'hélice redoublée donnée, on la démontrera en disant que la corde achévera d'être enroulée précisément au point M, & que par conséquent elle suivra exactement cette courbe qui doit par l'hypothése se terminer au même point; la déduction de cela doit procéder selon la même méthode que j'ai employée pour la premiére partie.

COROLLAIRE.

D'où il s'enſuit que quand la corde tendue ne peut pas demeurer parallele à elle-même, en montant ou en deſcendant le long du treuil, il eſt impoſſible qu'elle décrive ſur ce treuil une hélice réguliére.

REMARQUE.

C'eſt ce qui arrive néanmoins toujours dès que l'obſtacle eſt fixe, (ce qui eſt le cas le plus fréquent;) en effet cet obſtacle eſt dans le plan horizontal de la bâſe du treuil, ou il eſt élevé au-deſſus, ou abaiſſé au-deſſous: s'il eſt dans ce plan, l'angle que la corde fait avec cet obſtacle, varie continuellement ſelon que la corde eſt haute ou baſſe. L'angle de la corde avec le treuil varie auſſi à meſure de la deſcente ou de la montée de la corde ſur ce treuil; ainſi le triangle formé par la corde, le treuil, & la ligne tirée de l'obſtacle au treuil, change continuellement, excepté dans ſon angle droit; mais cela forme toujours des triangles rectangles diſſemblables.

Si l'obſtacle eſt fixe au-deſſus ou au-deſſous du plan de la bâſe du treuil, la même variation d'angles arrivera encore; car l'angle de la corde & d'une ligne menée de l'obſtacle à la bâſe, variera ſelon que la corde ſera haute ou baſſe, & l'angle de la corde ſur le treuil variant auſſi, il en réſultera des triangles toujours diſſemblables, ce qu'il falloit démontrer. Et de-là il ſuit encore que ces hélices irréguliéres que les cordes décrivent autour d'un treuil par des angles variables, doivent produire néceſſairement dans l'enroulement des inégalités très-ſenſibles, les tours devant être ſerrés & preſſés dans un endroit, lâches & évaſés dans un autre, &c.

D'où il s'enſuit que dans ces variations d'angles il eſt impoſſible que la corde décrive jamais d'hélice complette

réguliere ; & non-feulement elle ne peut pas en décrire une complette, mais elle n'en peut pas même décrire une portion ; car l'angle variant à chaque inftant, la corde commence toujours dans chaque moment une naiffance d'hélice, différente de toutes celles qui ont précédé, & qui fera fuivie auffi-tôt par une autre encore toute différente, ce qui eft évident par tous les principes pofés ci-devant.

Or de cela il réfulte un grand inconvénient dans l'enroulement des cordes ; & pour le comprendre il faut obferver, que jufques ici nous avons confideré toutes ces chofes dans la fpéculation, ce que nous n'avons pas pû nous empêcher de faire par rapport à la néceffité des démonftrations ; mais maintenant il faut defcendre à la pratique, & confiderer les cordes non plus fans péfanteur & fans courbure, mais avec ces deux qualités qui leur font abfolument effentielles dans l'état naturel ; à quoi il faut ajouter que les cordes fouffrent une violence plus ou moins grande à être enroulées, & réfiftent à être ployées, laquelle réfiftance croît dans le rapport des poids dont les cordes font chargées, c'eft-à-dire, d'autant plus à proportion que les poids font plus confidérables, & précifément dans l'occafion où cette réfiftance eft la plus incommode.

Expériences faites par M. Parent.

Or dans ce ployement des cordes, il doit arriver deux chofes ; l'une, que la partie concave de la corde (c'eft-à-dire, la partie qui touche le treuil) s'accourcit & fe comprime en-dedans ; l'autre, que la partie convexe (c'eft-à-dire, celle qui eft au-dehors) s'allonge ; mais l'accourciffement eft plus grand que l'allongement. Car après avoir bien mefuré la corde qu'il faut pour garnir un treuil, on la trouve toujours dans l'exécution, plus courte qu'il ne faut, ce qui eft même plus fenfible dans les groffes cordes que dans les petites : de-là il doit réfulter que quand une corde ne s'arrange pas fur un treuil avec uniformité, c'eft-à-dire, en un mot felon une hélice réguliere, elle doit être ployée inégalement ; c'eft-à-dire, felon un angle dans un endroit,

Autres expériences du même M. Parent.

& selon un autre angle dans un autre ; d'où il suit qu'elle doit être plus comprimée en-dedans dans un lieu, & plus lâche dans un autre ; plus allongée là en-dehors, & moins allongée ici, &c. d'où il doit résulter, 1°. que les fibres de la corde sont inégalement tiraillées, diversement contournées, & doivent par conséquent résister davantage à son ployement, ce que l'expérience fait voir dans le contournement qui arrive aux cordes fort chargées ; 2°. que la Machine doit avoir plus de difficulté à enrouler la corde dans les endroits où ses tours & circonvolutions sont trop serrées, (*a*) & notamment quand l'obstacle est assez éloigné pour que l'angle de la corde & du plan soit trop aigu par rapport à l'hélice que décrit actuellement cette corde sur le treuil ; au lieu que si l'on pouvoit faire ensorte que la corde s'enroulât toujours selon une courbe réguliere, aucun de ces inconvéniens n'arriveroit, & il ne faudroit pas employer de force superflue pour vaincre ces résistances ; laquelle force superflue tourneroit alors en force utile au profit de la Machine.

Il est vrai que dans la pratique on ne peut pas dire qu'on parvienne jamais à rendre les cordes géométriquement paralleles à elles-mêmes dans l'état de leur tension ; car il est impossible absolument qu'une corde (quelque bien tendue qu'elle soit) puisse être jamais parfaitement droite, d'où il suit que les cordes attirées par le treuil, auront toujours une courbure, laquelle sera d'autant plus grande que la corde sera plus longue.

Mais dans la pratique il ne peut jamais résulter d'inconvénient notable de cela ; tout ce qui en arrive, est que les premiers tours de la corde sont un peu moins serrés qu'ils

(*a*) Remarquez que quoique la Tournevire n'ait qu'un petit nombre de tours, néanmoins cette irrégularité des tours de la corde, peut avoir lieu à son égard, quand l'angle de cette tournevire & du plan, est trop aigu par rapport au pas d'hélice que la grosseur de la tournevire, respectivement au tronc du Cabestan, lui fait décrire sur ce tronc ; car si cet angle est trop aigu, comme il doit souvent arriver au bas, la corde doit tendre à monter & à s'embarrasser par conséquent avec les tours précédens, ce qui fait un obstacle à vaincre.

ne

ne devroient être ; mais la corde s'enroule toujours avec une très-grande aisance & une très-grande facilité, quand on prend les mesures nécessaires pour lui faire faire une courbe réguliere, ce que j'ai expérimenté avec une grande satisfaction plusieurs fois.

Quand donc on voudra le faire ainsi, il faudra mesurer exactement le diamétre du treuil, & celui de la corde qu'on veut employer; & après les avoir combinés ensemble, on en conclura de quelle sorte d'hélice réguliere & complette ce treuil est capable, relativement à la grosseur de la corde; puis on fera le reste comme en la proposition.

Il est vrai que l'on ne peut pas avoir jusqu'ici la longueur géométrique d'aucune hélice, parce que cela dépend de la rectification du cercle; mais comme on peut approcher aussi près qu'on veut de cette rectification, on peut aussi approcher tant qu'on le voudra de la mesure de la courbe; ce qui suffit pour la pratique, & n'a pas besoin d'un plus grand éclaircissement.

Avant que de quitter cet examen, il faut observer qu'on voit souvent avec étonnement que des cordes montent sur un treuil, contre leur propre poids & au-dessus de leur centre de gravité, sans qu'on voye sensiblement par quelle méchanique cela arrive; tandis que dans d'autres circonstances une corde enroulée au bas d'un treuil, ne peut jamais monter sur ce treuil, à moins qu'on n'y employe une force étrangere: il est absolument nécessaire que j'explique comment cela arrive.

C'est ce qui sera facile à comprendre, si l'on observe que quand une corde est au niveau de l'extrémité inférieure d'un treuil, & qu'elle est tirée par un poids qui est dans le même niveau, il est impossible qu'elle décrive autour de ce treuil autre chose qu'un cercle.

Par conséquent les choses demeurant au même état, il faut que cette corde reste dans le plan de ce cercle, ne pouvant avoir aucune des causes qu'on va voir tout à l'heure occasionner quelquefois sa montée; & partant elle ne

pourra jamais monter d'elle-même, & il faudra pour cela qu'on y employe une force étrangere.

Mais il en arrive quelquefois tout autrement quand la corde a déja commencé à décrire une courbe hélice, (surtout quand celle-ci est fort inclinée & rampante, & non pas roide, & que la corde est assez longue;) car alors la corde continue à monter sur les tours ou circonvolutions déja enroulées, quoique cela se fasse contre son propre poids, & qu'en cela son centre de gravité monte (à ce qu'il semble) de lui-même & sans violence, & qu'il n'y ait point de nouvelle puissance actuelle qui en soit la cause; ce qui semble contraire au principe de Méchanique.

Mais l'étonnement cessera, quand l'on considérera que la corde monte en ce cas-là par deux raisons fort simples & fort sensibles. La premiere est que par l'hypothese il y a déja une partie de cette corde enroulée sur le treuil, selon une circonvolution *hélitique*, que les parties de cette corde qui sont les plus prochaines de l'endroit où elle commence à se tendre, sont disposées par conséquent sur un plan incliné en cette sorte: *A B*, *C D*, *Fig. 3.* sont les tours de

Fig. 3. la corde déja enroulés sur le treuil, 1o. *E F*, sont les parties de la corde qui ont été dernierement enroulées, & qui sont les plus proches de l'endroit *G* où la corde commence à se tendre; cette corde étant par elle-même roide *, (& d'autant plus roide qu'elle est plus grosse,) reçoit dans la partie *E F* une direction inclinée ascendante, qui dispose ses parties subséquentes vers *G* à s'élever un peu; elle ne reprend pas ensuite la figure droite vers *H* tout d'un coup & angulairement; mais insensiblement & en forme d'arc; la partie *B* de la corde inférieure, qui est plus élevée que *A*, se trouve justement dans le creux de cet arc, & le treuil continuant à tourner, la corde se trouve prête à monter sur *B*, & elle y monte effectivement.

* J'oppose *roide à mou.*

2o. Quand même il arriveroit que la corde souffriroit en *G* quelque frottement contre le bord supérieur de la partie *B*, cela n'empêche pas que la corde ne monte,

pourvû que ce frottement ne ſoit pas trop grand, ni l'engrainement d'une de ces cordes ſur l'autre trop conſidérable; ce qui en deux mots arrive, parce que la corde ſupérieure a plus de facilité à continuer ſon mouvement vers le haut de *B*, que dans toute autre direction, & que la partie *B* repouſſe par ſa curvité même, la corde au-deſſus d'elle.

J'avois projetté de m'étendre beaucoup ſur cette difficulté dans cet ouvrage, & d'expliquer les limites de cette élévation poſſible de la corde ſur un treuil quelconque, c'eſt-à-dire, les bornes d'inclinaiſon, & les relations d'angles qui ſont néceſſaires pour faire cet effet, ou pour l'empêcher; mais cela auroit tenu trop de place, & auroit paru trop étranger à mon ſujet, c'eſt pourquoi je me contente d'en avoir dit ce peu qu'on vient de lire.

Je viens maintenant à la deſcription d'une Machine que j'ai inventée pour ſuppléer aux garcettes, & pour pluſieurs autres effets qu'on verra dans la ſuite; cela eſt néceſſaire pour l'explication de mes Méthodes d'éviter le choc, ou d'y ſuppléer.

Cette Machine (qui eſt entiérement de fer, & que j'appelle *ſerre-cable* à cauſe de ſon effet, qui eſt de ſerrer ou preſſer le cable d'une maniére invincible,) eſt en général compoſée de deux parties que j'appelle *parois*; de deux traverſes, d'un écrou, & d'une vis. Outre cela chacune de ſes parois a une queue ou prolongement par derriére, qui eſt chargé de deux crochets.

Dans la partie inférieure de chacune de ſes parois, eſt creuſé horizontalement, & ſelon ſa longueur, une eſpéce de canal ou de rainûre large & profonde, ſelon la proportion de la groſſeur du cable qu'on y veut preſſer; cette rainûre eſt ſemblable dans chacune des deux parois; cette rainûre ſera cavée ſelon une portion de courbe elliptique, & pourra être piquée de façon que les petites éminences qui réſulteront de ce piquage, s'oppoſent à la retraite du cable. L'une de ces deux parois a vers ſa partie ſupérieure deux attaches ou barres en forme de parallelipipede, qui

y ſont fermement attachées vers ſes deux extrémités, & qui en ſortent ſuffiſamment pour entrer juſte dans deux trous que l'on a laiſſés tout exprès dans la paroi oppoſée. Dans cette premiere paroi il y a encore un trou rond entre les barres ou attaches, par lequel paſſe une vis qui va s'inſérer dans un écrou, qui eſt dans la paroi oppoſée, entre les deux ouvertures dont on vient de parler.

Enfin chacune de ces parois a derriére ſoi une allonge chargée de deux crochets, ſçavoir un vers le milieu, & l'autre à ſon extrémité.

Ceux de l'extrémité ſont faits de ſorte que quand la Machine eſt en état, ces deux crochets ſe joignent parallelement, & n'en font, pour ainſi dire, qu'un ſeul. Les crochets du milieu ſont tout différens ; ils ne doivent pas être dans une direction parallele à leurs parois ; ils ne doivent pas être non plus à angles droits ſur ces parois ; mais ils doivent être de biais, comme on le voit dans la *Figure* premiere *G* & *H*.

Après avoir expliqué chacune des parties en détail, il faut en expliquer l'aſſemblage ; on fait entrer les barres ou attaches de l'une des parois, dans les ouvertures correſpondantes de l'autre, & l'on laiſſe aſſez d'eſpace entre ces parois, pour laiſſer paſſer entre elles le cable qu'on veut preſſer. Enſuite le cable étant entre les deux rainûres inférieures des deux parois, on les approche l'une de l'autre au moyen de la vis qui eſt faite exprès pour cela.

Cette vis ſerre les deux parois l'un contre l'autre, & les approche parallelement au moyen des deux parallelipipedes qui ſont aux deux côtés de la vis & de l'écrou, & qui ne permettent pas aux parois de prendre une ſituation oblique : on continue à ſerrer la vis par le moyen de l'attache ou manche marqué *L*, (*a*) & cela juſqu'à ce que le cable ſoit comprimé entre les deux rainûres des parois autant qu'il le peut être, enſorte que de rond qu'il étoit au-

(*a*) Ce qui ſert à ſerrer la vis dans ſon écrou, doit plutôt être appellé ſa clef, c'eſt cette clef qui eſt marquée L dans les figures.

paravant, il devienne ovale, c'eſt-à-dire, que s'il étoit coupé tranſverſalement en cet état, ſa ſection ſeroit une ellipſe.

La vis n'eſt pas employée ſeule à ſerrer le ſerre-cable, on y employe auſſi deux coins; ces coins s'inſérent dans des trous pratiqués dans les attaches ou barres plates, ci-deſſus décrites, à l'extérieur de la paroi, où eſt l'écrou de la vis; la diſtance qui doit être du commencement de ces trous à l'intérieur plat de l'autre parois, eſt de l'épaiſſeur d'une des parois jointe à la diſtance qui ſe trouvera entre les deux parois quand le cable ſera ſuffiſamment comprimé; or cette diſtance d'entre les deux paroi variera ſuivant la groſſeur des cables à comprimer; c'eſt pourquoi on ſe contente de dire ici que pour un cable de ſix pouces de circonférence, cette diſtance ſera de 38 parties égales de 400 au pied.

L'uſage de cette Machine eſt tel. Le ſerre-cable étant proche de l'endroit où l'on en a affaire, on le poſe ſur le cable, & l'on comprime celui-ci dans la Machine, autant qu'il le peut être; alors le cable prend la forme ovale que l'on voit dans la *Figure* ſeptiéme, où la Machine eſt repréſentée en deſſous, quoiqu'on ne la puiſſe jamais voir en cet état, quand elle ſerre le cable. *Fig. 7.*

La Machine étant ainſi ſerrée, & le cable y étant preſſé, les deux crochets qui ſont à l'extrémité de l'allonge des deux parois, ſe trouveront côte à côte l'un de l'autre, comme on le voit en la *Figure* premiere, & ne feront pour ainſi dire, qu'un ſeul crochet; c'eſt dans ce double crochet, que l'on attachera le cordage que l'on ſubſtituera à la tournevire. *Fig. 1.*

Les crochets qui ſont ſur le milieu du prolongement de chaque paroi, (& que je nomme *crochets de l'avant*, ou *crochets latéraux*,) auront un tout autre uſage. C'eſt à ces crochets qu'on attachera les chaînes ou les cordes, dont on voudra ſe ſervir, quand on aura deſſein d'arrêter le cable; il eſt viſible que l'opération en ſera très-prompte & facile: cela fournira deux attaches toutes prêtes, & qui ſeront invinciblement liées au cable.

Le cable étant ſerré dans cette Machine d'une maniére invincible, l'on pourra également s'en ſervir, ſoit qu'on veuille l'attirer ou l'arrêter ; ſi c'eſt pour l'attirer, le cordage qui tient lieu de tournevire, ſera accroché dans le double crochet de l'arriére ; ce cordage étant attiré vers le Treuil du Cabeſtan, amenera le cable en même-tems : quand on voudra arrêter le mouvement du cable, on le fera en amarrant ſur les crampons de l'avant les cordes ou les chaînes néceſſaires pour cela. Au contraire, quand on voudra de nouveau attirer le cable, on décrochera les chaînes ou cordes attachées aux crampons de l'avant, & qui tenoient auparavant le cable en état ; & alors le ſerre-cable pourra être attiré par le cordage du Cabeſtan. On réitérera ces opérations alternativement ſelon qu'on en aura beſoin.

On pourroit donner au ſerre-cable, pluſieurs formes en apparence différentes de celles qu'on vient de propoſer, mais qui reviendroient toujours au même effet : on a fait les calculs neceſſaires pour déterminer la groſſeur & toutes les meſures des parties de cette Machine, relativement aux diamétres de toutes ſortes de cables ; & cela eſt joint à une explication plus ample de la quatriéme Méthode qu'on donnera ci-après, dans laquelle le ſerre-cable eſt eſſentiel ; mais l'on n'a pas eu le tems de les faire copier ; ſi Meſſieurs de l'Académie le ſouhaitent, on leur fera tenir tout cela, avec les Machines qu'on a fait exécuter.



TROISIEME PARTIE.

LEMME.

SI une corde eſt enroulée de quelques tours au milieu d'un Treuil, enſorte que les deux extrémités de ce Treuil ſoient vuides, & que les deux bouts de cette corde ſoient flottans, l'un au-deſſus, & l'autre au-deſſous de ce qui eſt déja enroulé :

Je dis que ſi on veut continuer d'enrouler les deux bouts de cette corde, il faudra ſucceſſivement tourner le Treuil en ſens contraire, c'eſt-à-dire à droite, & enſuite à gauche, ou bien à gauche, & enſuite à droite.

Soit une ſeule & même corde, *DEFGHI*, *Pl.* 1. *Fig.* 4. qui ſoit enroulée de quelques tours *g*, *f* au milieu du Treuil *a b c*, *Fig.* 4. & que ſes deux bouts *d e* & *h i*, ſoient flottans, l'un au-deſſus de ce qui eſt déja enroulé *g h*, & l'autre au deſſous ; je dis que ſi on veut continuer d'enrouler les deux bouts de cette corde, il faut tourner ſucceſſivement en ſens contraires ; ſçavoir de *b* en *a*, pour garnir la partie *d e*, & de *a* en *b*, pour garnir *h i* ſur le Treuil. *Pl.* 1. *Fig.* 4.

Per ſe patet attendenti.

COROLLAIRE.

D'où il ſuit que ſi l'on diviſe la hauteur d'un Treuil en deux parties égales, & que l'une de ces moitiés ſoit garnie entiérement d'une corde, dont le bout ſoit aſſez long pour garnir l'autre moitié, qui eſt vuide ; ſi l'on tourne dans un ſens contraire à celui qui a ſervi à enrouler la premiere moitié, on enroulera la partie reſtante de cette corde ſur la ſeconde moitié, & l'on déroulera la partie déja garnie ſur la premiere moitié.

Fig. 5. Soit le Treuil *ABCD*, *Fig.* 5. divifé en deux parties en *EF*; que l'une de ces moitiés, (par exemple la fupérieure,) foit entiérement garnie de cordes, & que l'autre foit vuide; mais qu'il y ait encore affez de cordage pour garnir l'autre moitié de ce Treuil *EFCD*.

Je dis que fi on tourne ce Treuil dans un fens contraire à celui qui a fervi à enrouler la corde fur la partie fupérieure, c'eft-à-dire, fi l'on fait tourner cet effieu de *AC* en *BD*, on fera deux chofes à la fois : on déroulera la partie déja garnie, & l'on enroulera la partie vuide d'autant que l'on dégarnira l'autre.

Per fe patet attendenti.

Premiere Méthode pour éviter le Choc.

On prendra un cordage qui foit affez long pour enrouler la moitié du Treuil du Cabeftan donné, & pour atteindre outre cela deux fois à l'endroit le plus éloigné où ce cordage doit être joint au cable de l'ancre; il ne faut point que ce cordage foit garni de fufées comme la tournevire, ni que fes deux bouts foient aiguilletés l'un avec l'autre.

On garnira une des moitiés du Cabeftan, (laquelle on voudra,) avec la partie de ce cordage, qui fera vers fon milieu ou environ, enforte que fes deux bouts foient libres, chacun d'une égale longueur. J'appelle cette opération, *enrouler à la main.*

Cela étant ainfi préparé, on attachera l'une des branches du cordage, (fçavoir celle qui répondra à la partie vuide du Cabeftan,) aux crochets de derriére du ferre-cable: puis ayant fait entrer le cable de l'ancre au milieu des deux parois concaves du ferre-cable, on ferrera celui-ci le plus fort que l'on pourra, puis les Matelots vireront pour amener le fardeau; & cela dans le fens que requerra la branche du cordage qu'il faudra enrouler fur la partie vuide du Cabeftan; par les lemmes précédents ce cordage fe garnira fur cette moitié vuide, & l'autre partie dudit cordage déja

enroulée

enroulée, se déroulera en même-tems sans effort. Quand cette partie du cordage qui vire, & qui amene le fardeau, aura été entiérement garnie sur la moitié du Cabestan qui lui est destinée, l'autre moitié du Cabestan sera devenue vuide; & la corde qui étoit auparavant dessus, sera entiérement détortillée; alors comme on ne pourra plus virer sur la premiere branche, les Matelots cesseront un moment de virer; durant cette courte cessation on attachera cette branche détortillée du cordage au cable de l'ancre, tout le plus loin que l'on pourra du Cabestan, par le moyen d'un second serre-cable qu'on aura tout prêt pour cela. Quand ce dernier sera bien serré, ensorte que les deux serre-cables tiennent tout à la fois les deux bouts du cordage du Cabestan attachés au cable de l'ancre, en deux endroits différens; alors les hommes du Cabestan feront chacun volte-face, & se porteront (en se tournant) sur la barre qui sera derriére eux: dans cet instant, on desserrera le premier serre-cable, & on décrochera le cordage du Cabestan qui y étoit attaché; puis sur le champ les Matelots recommenceront à virer, mais dans le sens opposé au premier virage; par cette action contraire à la premiere, ils garniront la partie vuide du Cabestan, & ils dégarniront celle qui étoit pleine; & ainsi par cette manœuvre alternative, (qu'on repétera autant qu'il sera necessaire pour tirer tout le cable,) on ne choquera jamais; & on ne cessera de virer que durant le tems qui sera necessaire pour attacher & pour détacher les serre-cables, & faire faire volte-face aux Matelots, ce qui sera très-bref, sur-tout quand on y sera habitué; on fera à proportion la même opération quand il faudra jetter l'ancre, ce qu'il est inutile d'expliquer en détail.

PREMIERE REMARQUE.

Quand j'ai dit qu'on enroulera laquelle des moitiés du Cabestan on voudra, j'ai parlé spéculativement; mais dans la pratique, cela ne sera pas indifférent, quand les deux endroits

où les deux branches du cordage faifiront le cable de l'ancre feront très-différemment éloignés de l'écubier ; car alors il faudra commencer par enrouler à la main la partie inférieure du Cabeftan, afin que le premier virage fe faffe fur la partie fupérieure du Cabeftan ; la raifon en eft que ce virage fe fera en montant, & qu'afin qu'il fe faffe avec facilité, il faut que le cordage foit le plus long qu'il eft poffible, fuivant que je l'ai obfervé ci-devant.

SECONDE REMARQUE.

Si on objecte que ce virage de la corde fe faifant en montant, fera difficulté & violence à la Machine ; je réponds que fuivant les principes pofés à la page 240, il ne fera nulle difficulté, pourvû que l'on faffe les pas de l'hélice felon laquelle la corde inférieure fera enroulée, les plus inclinés que la groffeur du cordage le pourra permettre, & que l'on place ce virage dans le tems de l'opération que la corde eft la plus longue. Il faudra encore obferver que la fuppreffion des fufées (ou entortillement de fil de carret qu'on fait à la tournevire) eft abfolument neceffaire ici : car j'ai expérimenté que ces fufées font un grand obftacle au remontement de la corde ; fi cependant on trouvoit que cette montée de la corde fût trop difficile, on pourroit prendre la feconde Méthode ci-après, où cela eft évité, ou bien on feroit la moitié fupérieure de l'axe du Cabeftan en forme de cône tronqué, pour y faciliter la montée de la corde, felon la loi des cordes tournantes fur des plans inclinés, & cela ne feroit fujet à aucun inconvénient, parce que cette corde fe détortilleroit fans effort, quand la moitié inférieure du Cabeftan fe garniroit. Au refte on fera tracer quelle naiffance d'hélice on voudra aux tours de corde qu'on enroulera à la main fur le Cabeftan ; & fi on y trouve quelque difficulté, on n'aura qu'à diriger le premier tour par quelques chevilles placées dans des trous faits exprès au tronc du Cabeftan, qui feront difpofées felon le

pas d'hélice qu'on voudra donner, lesquelles chevilles on ôtera ensuite. Au surplus il est (je crois) inutile d'avertir que la branche vuide du cordage sera toujours amenée par un homme, qui ne fatiguera aucunement, n'ayant aucun effort à vaincre, & n'étant chargé que du seul poids de la corde.

L'avantage général de cette Méthode (& des trois suivantes) est que comme le poids de l'ancre est un poids pendant, qui doit necessairement être au bout d'une corde qui se plie à la rencontre de l'écubier, (ce qui forme ce que j'ai appellé ci-devant un *obstacle fixe*, dont j'ai montré les inconvéniens,) on fait ici par le moyen du serre-cable, un poids traînant & mouvant, dont la masse & la pésanteur jointes aux poids des cordages qui y sont très-fortement attachés, forment un obstacle ambulant, qui fera que les angles de la corde seront à peu-près égaux, du moins quant à la pratique, ce qui suffit : mais cette égalité ne pourra être la plus grande qu'il soit possible de l'exécuter, que dans la quatriéme Méthode ci-après.

Pour voir maintenant les avantages particuliers de cette premiére Méthode, j'en vais mettre toutes les opérations en parallele avec chacune de celles de la Méthode de la tournevire, pour voir d'un coup d'œil, ce qu'elles ont de différent, & qu'on puisse les comparer plus surement & plus facilement.

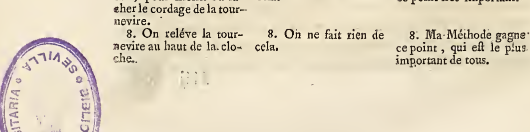


METHODE

DE LA TOURNEVIRE ORDINAIRE.

Parallele des deux Méthodes.

Méthode de la Tournevire ordinaire.	*Méthode que je propose.*	*Comparaison des tems & des forces des deux Méthodes.*
1. On garnit la Tournevire sur la cloche, & ensuite on en aiguillete les deux bouts avec de la quarantaine ou quarantainier.	1. On enroule la corde par sa partie du milieu sur l'une des deux moitiés du Cabestan, & l'on garnit une de ces moitiés entiérement.	1. Ma Méthode perd quelque peu de tems en cet article.
2. On attache le cable de l'ancre avec la tournevire par le moyen des garcettes.	2. On attache le cable de l'ancre avec l'une des deux branches du cordage par le moyen d'un des serre-cables.	2. Tems à peu près égal ; mais ma Méthode demande moins d'hommes & de forces, & partant y gagne.
3. On vire jusqu'à ce que la Tournevire soit parvenue au bas de l'essieu du Cabestan.	3. On vire jusqu'à ce qu'on soit parvenu à dérouler la corde garnie sur une des moitiés du Cabestan, & qu'on ait enroulé l'autre moitié.	3. Ma Méthode paroît perdre ici ; mais elle ne perdra rien si l'on allonge le treuil, dont je donnerai les moyens ci-après ; il y a outre cela des raisons qu'on verra en leur lieu, &c.
4. Alors on arrête le mouvement de la Machine.	4. Alors on arrête le mouvement de la Machine.	4. De même.
5. On prend des bosses ou tresses sur le cable pour l'arrêter & l'empêcher de retourner en arriere.	5. On ne fait rien de cela.	5. Ma Méthode gagne cela.
6. On ôte les garcettes qui tenoient le cable & la tournevire unis.	6. On ne fait rien de cela.	6. Ma Méthode gagne cela.
7. On dévire le Cabestan, pour mollir ou lâcher le cordage de la tournevire.	7. On ne fait rien de cela.	7. Ma Méthode gagne ce point très-important.
8. On reléve la tournevire au haut de la cloche.	8. On ne fait rien de cela.	8. Ma Méthode gagne ce point, qui est le plus important de tous.



Méthode de la Tournevire.	*Méthode que je propose.*	*Comparaison, &c.*
9. On remet les garcettes pour unir la tournevire & le cable.	9. On met le second serre-cable pour unir la seconde branche du cordage avec le cable.	9. Tems a peu près égal; mais ma Méthode gagne des forces.
10. On ne fait rien de cela dans la Méthode de la tournevire.	10. Les Matelots font volte-face, & en se tournant se portent chacun sur la barre du Cabestan, qui étoit auparavant vers son dos.	10. Ma Méthode perd ce tems, qui est très-court.
11. On ôte les bosses qu'on avoit prises sur le cable.	11. On défait le premier serre-cable qui tenoit le cable, & on déboucle le nœud du cordage du Cabestan qui le joignoit avec ce même serre-cable.	11. Ma Méthode gagne du tems.
12. On roidit de nouveau la tournevire.	12. On vire dans un sens contraire à celui qu'on avoit suivi auparavant.	12. De même à peu près pour le tems & les forces.

Il faut considérer trois choses dans la comparaison de ces Méthodes.

1°. Ce qu'elles ont de semblable & de commun, ce qui se réduit presque à rien, & en quoi l'une ne gagne ni ne perd rien sur l'autre; ce sont les articles 4. & 12.

2°. Ce qu'elles ont de différent totalement.

3°. Ce qu'elles ont d'équivalent, c'est-à-dire, ce que chacune fait à sa maniére, mais d'une façon qui revient au même but.

Ce qu'elles ont de totalement différent se réduit aux articles 3, 5, 6, 7, 8, & 10.

La Méthode que je propose, gagne entiérement les articles 5, 6, 7, & 8. & sur-tout ces deux-ci, qui sont les plus importans de tous, & le but du problême à resoudre.

Elle perd totalement l'article 10. qui n'est pas le tems de 4 secondes.

Elle paroît perdre quelque chose sur le troisiéme, parce que je ne fais parcourir à chaque fois que la moitié de l'axe du Cabestan; au lieu que la Méthode vulgaire le fait parcourir tout entier. Mais;

1°. Cela eſt compenſé très-avantageuſement par les quatre principaux articles que je gagne, & pourvû que je ne perde pas tant ſur cet article 3, que je gagne ſur les autres, il y aura toujours de l'avantage de mon côté : or c'eſt ce qui eſt viſible ; car quand le cordage a deſcendu ou monté le long de la moitié de l'eſſieu, ma Méthode ne requiert préciſément que le tems qu'il faut, premiérement pour lier la ſeconde branche du cordage avec le cable, par le moyen du ſecond ſerre-cable ; ſecondement, pour faire tourner les Matelots ; & troiſiémement, pour ôter le premier ſerre-cable : or tout ce qu'on peut me reprocher, eſt que je fais faire deux fois ces trois opérations, pendant qu'on n'auroit choqué qu'une fois dans la Méthode vulgaire ; mais il eſt viſible que ces deux fois n'emportent pas à beaucoup près tant de tems que les quatre opérations d'un ſeul & unique choc ; & je puis même dire que le ſeul tems qu'il faut pour prendre des boſſes ou treſſes pour arrêter le cable, eſt plus long que mes trois opérations répétées deux fois, ſans parler du dévirement du Cabeſtan, & du choc, que je ſauve & épargne en entier.

2°. J'ai une réponſe finale à cela, en propoſant des moyens d'allonger le Treuil, qu'on verra ci-après.

Quant à ce que les deux Méthodes font de différentes maniéres, mais au fond d'une façon à peu-près équivalente ; il eſt viſible que cela ſe réduit aux articles 1, 2, 9, & 11. or ma Méthode gagne en tems à l'article 11. & en forces aux articles 2. & 9. & elle ne perd qu'en tems à l'article 1. ce qui peut être compenſé avec le tems que je gagne à l'article 11. & partant, je gagne toujours en forces, à l'égard de ces quatre articles ; mais on pourroit regarder le premier article comme n'étant pas directement de la manœuvre propre du Cabeſtan, mais ſeulement comme une préparation, qu'on peut faire à l'avance, & devant que d'en avoir affaire, en tenant les cordages enroulés & aſſujettis dans la ſituation que je requiers, par quelque moyen très-ſimple & très-facile à trouver : en ce cas-là, il n'y aura abſolument

aucune perte de tems pour moi, & je gagnerai entiérement celui de l'article 11.

Seconde Méthode que je propose.

Cette seconde Méthode a un entier rapport avec la premiere, & n'a été imaginée par moi que pour lever l'inconvénient qui pourroit arriver dans certains cas, de la difficulté qu'on éprouveroit à faire tourner la corde, en montant audessus de son niveau, dans la partie supérieure du Treuil du Cabestan : du surplus cette Méthode a précisément les mêmes avantages que la premiere.

Pour cela j'ai imaginé de n'employer pas une seule corde continue, dans cette opération ; mais de la couper en deux, dont les deux extrémités seront attachées très-fixement, l'une au haut de l'essieu du Cabestan, l'autre au milieu, mais qui seront tournées au contraire l'une de l'autre, ensorte que l'une s'enroulera tandis que l'autre se déroulera. Les choses étant ainsi disposées, & les cordes ayant les longueurs suffisantes pour aller joindre le cable tout le plus loin qu'il sera possible du Cabestan ; l'on enroulera l'une de ces cordes à la main, sur une des moitiés de l'essieu qui lui correspond, l'on laissera l'autre moitié vuide ; puis ayant attaché le cable de l'ancre avec la corde libre qui n'est point enroulée du tout, (& cela par le moyen du serre-cable, comme dans la premiere Méthode,) on virera dans le sens contraire à celui qui a enroulé la premiere corde ; donc celle-ci se déroulera à proportion que la seconde se garnira sur le Treuil ; quand celle-ci sera toute garnie, on arrêtera le virage, on attachera le second serre-cable avec la premiere corde sur le cable de l'ancre ; puis les Matelots feront volte-face, on défera le premier serre-cable, & on virera sur la premiere corde, que l'on garnira de nouveau, tandis que l'autre se dégarnira ; & ainsi toujours. Fig. 6.

Cette opération est si semblable à la premiere, qu'elle ne mérite pas de discours particulier.

Elle a pour avantage propre, celui de n'être pas obligé de faire monter la corde contre son poids, & ainsi elle est plus parfaite que la premiere Méthode, ayant tous ses avantages, & en ayant outre cela un spécial.

NB. Il est très-important d'observer ici que cette présente Méthode (non plus que la suivante,) ne requiert pas necessairement l'usage du serre-cable; si quelqu'un le trouve difficile à fabriquer, ou à employer, on peut le laisser-là, & se servir pour cette Méthode & pour la suivante, des garcettes, en faisant des fusées sur les cordes qu'on y employera, ce qui ne changera rien dans ces Méthodes, dont l'essentiel & le necessaire ne seront pas changés pour cela.

Troisiéme Méthode.

La troisiéme Méthode est encore plus parfaite que les deux premieres; car elle a l'avantage particulier de n'être pas obligé en s'en servant de changer le côté du virage, c'est-à-dire, contraint de virer alternativement à droite & à gauche: à cet avantage en est joint encore un plus grand; c'est de ne pas cesser de virer un seul moment, quelque longueur qu'ait le cable; ce qui mérite grande considération: c'est pour éviter l'inconvénient de la cessation, que j'ai trouvé cette troisiéme Méthode.

Pour cela, il faut en fabriquant le Treuil du Cabestan, y ménager précisément au milieu, un bourlet ou élevation assez épaisse & assez forte pour resister au frottement de la corde, qui dans quelques occasions doit frotter dessus, & pour empêcher les deux tournevires dont je vais parler, de se confondre ensemble. *Pl. I. Fig. 7.*

Ensuite il faut préparer deux tournevires toutes semblables l'une à l'autre, & faites comme dans l'opération vulgaire: on y fera des fusées, avec des entortillemens de fil de carret, si on veut employer les garcettes, pour joindre les cordages au cable de l'ancre; & on n'y en fera pas, si on aime mieux se servir du serre-cable pour le même effet; chacune de

de ces tournevires ſera affectée & deſtinée pour chacune des deux moitiés du Treuil du Cabeſtan, & ſera pour cette fin enroulée ou garnie d'autant de tours, qu'on a coutume de faire pour l'opération vulgaire, dans la moitié qui lui eſt propre; puis ſera aiguillétée; on montera enſuite le plus haut qu'on pourra, celle par laquelle on doit commencer, (il n'importe par laquelle on commence, ſinon qu'il faut toujours prendre la tournevire d'en-haut pour la plus grande diſtance.) On attachera à la branche inférieure de la tournevire qu'on aura choiſie, le cable du fardeau, & cela par le moyen du ferre-cable, (ou des garcettes,) & l'on virera deſſus; quand on verra que cette tournevire ſera aſſez proche de ſa fin, (c'eſt-à-dire, du bas de ſa moitié du Treuil,) on remontera l'autre tournevire au haut de la moitié où elle eſt deſtinée; & cela ſans ceſſer de virer; on attachera la branche inférieure de cette ſeconde tournevire au cable, en quelque endroit le plus loin qu'on pourra du Cabeſtan; tout cela ſe fera ſans ceſſer de virer ſur la premiere tournevire; car quoique les deux tournevires ſoient toutes deux attachées au cable, comme elles ſont (par l'hypothéſe) toutes deux ſemblables, & enroulées ſur deux portions du même Treuil, & qu'elles tournent toutes deux dans le même ſens; elles ont un mouvement tout égal, & tirent tout également & uniformément le même fardeau, (ce qu'il faut bien obſerver.) Quand la premiere tournevire ſera au bas de ſa fuſée, on la détachera du cable, & l'on virera ſur la ſeconde toute ſeule; quand enſuite celle-ci ſera vers la fin du Treuil qui lui eſt aſſigné, ſans attendre qu'elle ſoit à ſa fin entiérement, on remettra la premiere tournevire en état; on l'attachera au cable du fardeau, & ainſi toujours ſans jamais ceſſer un ſeul inſtant de virer. Si l'on ſe ſert des garcettes pour cette opération, celui qui tiendra celle qui ſera la plus proche du Cabeſtan, ira l'attacher (par exemple) ſur la tournevire qu'on voudra ſubſtituer à la premiere qui ſera prête à finir; & ainſi de ſuite, enſorte qu'inſenſiblement la ſeconde tournevire ſera entiérement attachée au cable, & l'autre détachée,

ſans qu'on ſe ſoit à peine apperçû de ce changement.

Il faut convenir que cette troiſiéme Méthode eſt bien plus parfaite que les deux autres, 1°. en ce qu'on ne ceſſe pas de virer; 2°. en ce qu'on n'eſt pas obligé de virer ſur deux ſens différens: & outre cela elle a les mêmes avantages que les deux premieres, ſans en avoir les défauts.

Toute la difficulté qu'il peut y avoir ici, eſt qu'il faudra gouverner quatre cordes, c'eſt-à-dire, les deux branches portantes le fardeau des deux tournevires, & tenir les deux autres branches qui ſeront vuides; mais cet inconvénient eſt léger; & ſi l'on étoit obligé de ceſſer le virage un inſtant pour arranger la corde de chaque Treuil au haut de ſon eſſieu, ce ſeroit là un très-petit inconvénient.

Si l'on me demande à preſent pourquoi je n'ai pas propoſé tout d'abord cette Méthode, que je juge moi-même plus parfaite; je dirai que j'ai voulu conduire l'eſprit de mes Lecteurs par les mêmes moyens par où le mien a paſſé, n'ayant trouvé ces Méthodes que l'une après l'autre, & ſur les difficultés que je me faiſois à meſure que je les réduiſois en pratique ſucceſſivement: ainſi c'eſt ici le développement de mes découvertes en ce genre. Outre cela j'ai été bien aiſe de faire voir que la moins parfaite de mes Méthodes pouvoit avoir de grands avantages ſur la Méthode vulgaire. Enfin je penſe que ces premieres Méthodes ne ſont pas tout-à-fait inutiles, qu'il y aura des lieux & des circonſtances où l'on en pourra tirer bon parti; & je n'ai pas voulu fruſtrer le public de l'utilité qu'on en pourra tirer, quelle qu'elle puiſſe être.

Il faut maintenant répondre à l'objection que l'on ne manquera pas de me faire ſur ce que dans ces trois Méthodes, je réduis toujours le Treuil du Cabeſtan à la moitié pour chacune des opérations partielles, qui me ſont eſſentielles. On dira ſans doute que le Treuil du Cabeſtan n'eſt pas déja trop long, & que je le diminue encore de moitié; on remarquera infailliblement que la hauteur du Treuil du Cabeſtan eſt déterminée par l'élevation de ſes

barres, laquelle élevation eſt elle-même fixée par celle de l'eſtomach d'un homme de moyenne taille, qui eſt la hauteur où il a le plus de force pour pouſſer avec ſes bras, & pour incliner en même-tems la partie ſupérieure de ſon corps, afin d'appliquer toute ſa puiſſance ſur la barre qu'il gouverne.

Cette objection eſt forte, je ne le diſſimule pas, puiſque j'ai été le premier à me la faire, & même à la propoſer comme un grand défaut de la Méthode du Cabeſtan ordinaire; mais il faut obſerver d'abord qu'elle ne tombe réellement pas ſur ma troiſiéme Méthode, qui eſt eſſentiellement la meilleure; car comme on ne ceſſe pas d'y virer un ſeul inſtant, il importe fort peu ſi l'on vire ſur un Treuil long ou court. Cela eſt fort indifférent aux Navigateurs, pourvû que d'ailleurs l'opération ſe faſſe ſans retard, c'eſt-à-dire, le plus promptement qu'il eſt poſſible, ce qui eſt tout ce qu'on peut déſirer. Tout ce qui peut réſulter de cela, eſt que l'on ſera obligé de remonter la corde, & de l'attacher un peu plus ſouvent; mais j'ai déja remarqué que cela n'empêchera pas le virage, pourvû qu'on le faſſe avant que l'autre tournevire ait fini ſon cours; d'ailleurs quand cela demanderoit un arrêt, cet arrêt ſe feroit ſans être obligé de prendre des boſſes, ſans dévirer, ſans mollir le cordage, &c. & ainſi l'inconvénient ſeroit le plus petit qu'on ſe puiſſe imaginer.

Ainſi l'objection de la diminution du Treuil ne tombe pas ſur ma troiſiéme Méthode, mais ſur les deux premieres ſeulement. Mais quand même elle reſteroit ſans reponſe, les Méthodes que j'ai propoſées ne laiſſeroient pas d'être (telles qu'elles ſont) ſupérieures à la Méthode vulgaire; & quand on viendra à calculer, on trouvera qu'on peut avec ces demi-Treuils filer 7, 8, 9. & quelquefois 10 braſſes de cable tout de ſuite & ſans interruption par leur moyen; car ſi l'on ſuppoſe le diamétre du Treuil de 19 pouces, ſon tour ſera de 5 pieds ou environ; ainſi chacun de ces tours enroulera une braſſe de corde, & fera monter d'autant le

cable ; si maintenant le Treuil a 40 pouces de haut, (ce n'est pas trop,) ce Treuil divisé en deux aura 20 pouces, & si le cordage a 2 pouces de diamétre, & plus de 6 de tour, il s'enroulera 10 brasses en une demi-opération, selon mes Méthodes ; ce qui ne laisse pas d'être considérable : s'il a 3 pouces de diamétre, il s'enroulera près de 7 brasses ; & ainsi des autres à proportion : (*a*) mais si nonobstant ces raisons on veut un Treuil encore plus long, on le peut faire en deux maniéres.

L'une est en haussant les barres, & en trouvant moyen néanmoins que le virage ne s'en fasse pas avec une moindre facilité.

L'autre est en supprimant le virage de l'entrepont, & en donnant au virage qui se fait sur le second pont, (ou dessous le gaillard,) une force presque double de celle qu'il a d'ordinaire.

Premier Moyen.

Cela consiste à hausser les barres, & à les emmancher au haut du Treuil du Cabestan, vers le plancher du pont supérieur ; ensorte néanmoins qu'on laisse entre les barres & ce plancher, assez d'espace pour pouvoir y passer les instrumens dont je vais parler. Et afin que cette hauteur (qui ne sera que de six pieds au plus) n'empêche en rien la facilité du virage ; il n'y a qu'à faire travailler chaque Matelot dans une bricole ou baudrier passé sur sa poitrine, & dont les bouts seront attachés à la barre, & y seront arrêtés, par le moyen d'une cheville facile à ôter & à replacer ; l'on peut faire ces bricoles de différentes figures, toutes revenantes au même effet, comme d'y placer des allonges pour y placer les mains, &c. L'on peut même les faire assez longues, pour que les Matelots tirent la barre presque horison-

(*a*) Remarquez que la plupart des Cabestans ont deux pieds (ou même $2\frac{1}{2}$) de diamétre ; ainsi ils peuvent enlever à chaque tour six (ou même près de huit) pieds de cordage : & quand on donneroit quatre pouces de diamétre à la tournevire, on pourroit toujours enlever six (ou même huit) brasses de corde par chaque demi-treuil.

talement, afin qu'ils ne perdent gueres de forces par la traction oblique. (*a*)]

Il eſt vrai qu'il y a un inconvénient à cela, c'eſt que quand la corde qui tire le fardeau ſera dans le haut du Treuil, les hommes en tournant ne pourront pas, quand ils rencontreront cette corde, ſauter par-deſſus comme ils faiſoient ci-devant, quand la corde n'étoit jamais plus haute de 3 à 4 pieds.

Cette difficulté n'arrivera que quand la corde ſera très-haute, c'eſt-à-dire, dans le virage de la partie d'enhaut du Treuil du Cabeſtan; car quand elle ſera deſcendue à 3 ou 4 pieds, les choſes feront au même état qu'elles l'étoient autrefois à cet égard; ainſi dans mes premieres Méthodes, il n'y aura que dans le virage d'enhaut où l'on ſentira l'embarras. D'ailleurs comme la corde du tirage eſt toujours dans la même direction & dans un même plan, (comme je l'ai expreſſément obſervé ci-devant,) il faudra mettre pendant le tems du virage d'enhaut ſeulement, quelques planches, larges de 4 à 5 pieds, élevées d'un pied & demi, (ou de 15 pouces,) au-deſſus du ſol où l'on tourne, leſquelles ſeront placées ſelon leur longueur, dans la direction de la corde qui tire le fardeau; les Matelots en approchant de cet endroit monteront ſur cette eſpéce d'échaffaut, & alors la corde du fardeau ne ſera plus élevée à leur égard que de 3 à 4 pieds tout au plus, & ils la ſauteront facilement comme ils le font à préſent, quand elle eſt à ſa plus grande élevation; l'on ôtera enſuite les planches dans le virage de la moitié inférieure du Treuil du Cabeſtan.

Second Moyen.

Mais ſi l'on trouve ce moyen accompagné de trop de difficultés, on peut ſupprimer totalement le virage de l'entrepont, & donner au Treuil du Cabeſtan toute la hau-

(*a*) L'on peut auſſi imiter la manœuvre fort ſimple par laquelle on fait aller ces ſortes de mouliners, au bout deſquels on place des chevaux de bois, &c.

teur en entier qui eſt entre les deux ponts, & il ne reſtera alors pour cette opération dans l'entrepont, que les hommes qui ſeront neceſſaires pour garnir les tournevires ſur le Treuil, & pour en tenir les extrémités non-chargées : or cette ſuppreſſion ſera facile, ſi l'on obſerve que l'on ne s'eſt ſervi juſqu'à préſent, dans les manœuvres de tous les Cabeſtans, que de barres entiéres, ou demi-barres, (qui ſont des barres à l'Angloiſe,) il faut y joindre des quarts de barres, qui doubleront preſque toute la force, étant à l'extrémité de la circonférence du virage. Je m'explique.

Quand j'ai voulu faire des épreuves de tout ce que je propoſe, j'ai fait faire un des plus grands Cabeſtans qu'on pût exécuter : les barres avoient chacune 20 pieds, elles étoient d'un bois de brin choiſi exprès, d'une groſſeur de 5 à 6 pouces en tout ſens ; malgré cette force, on s'apperçut bien-tôt que leur grande longueur les faiſoit plier dans les grands efforts ; j'imaginai auſſi-tôt de les ſoutenir vers le milieu de leur rayon par des morceaux de bois qui ſeroient emmanchés d'une barre à l'autre, & je le fis ainſi executer : cet emmanchement étoit fait très-ſimplement au moyen d'une petite entaille faite à la barre dans laquelle entroit le bout du morceau de bois, ſeulement autant qu'il le falloit pour y poſer une ou deux chevilles amovibles, & le reſte du morceau de bois portoit à côté de la barre : toutes les barres étant donc, (pour ainſi dire,) arcboutées & contreventées de la ſorte les unes contre les autres, elles devenoient capables de ſoutenir, ſans plier, les plus grands efforts.

Le ſuccès de cette idée m'en a fait venir une autre, c'eſt de faire ces morceaux (que j'appelle *entre-barres*,) d'un bon bois bien ſolide, & d'emmancher ſolidement à chacune de ces piéces un morceau de bois à angles droits, qui deviendra une nouvelle barre, & qui doublera le nombre des barres juſtement à l'extérieur du virage, qui eſt le lieu où les hommes ont le plus de force ; (voyez la *Figure* ci-jointe ;) c'eſt ce que j'appelle *quarts de barres.*

Il ne faut pas croire au reste, qu'il y ait une grande difficulté à placer ces entre-barres, & les quarts de barres qui en dépendent; tout cela peut-être emmanché & assemblé à chevilles apparentes, qu'on ôte & qu'on remet comme on veut, & la Machine n'en sera pas moins solide pour cela; du surplus si on craignoit que ces quarts de barres ne fussent trop faciles à forcer, (comme n'étant appuyées que par l'emmanchure d'une de leurs extrémités, qui se fera à angles droits;) il n'y aura qu'à attacher le bout de chaque quart de barre avec les extrémités des barres d'à côté, au moyen de deux bouts de cordes: ces cordes feront la figure des côtés d'un poligone régulier, & elles se soutiendront de sorte qu'il ne se pourra pas qu'un seul des quarts de barre plie, à moins que toutes les barres & tous les quarts de barres ne plient, & ne se contournent toutes à la fois, ce qui est impossible. (*a*)

Avant que de finir cet article, il me reste deux *Observations* très-importantes à faire: L'une, que quand même on ne voudroit pas supprimer le virage de l'entrepont, quand même on ne voudroit pas allonger le Treuil, quand enfin on ne voudroit recevoir aucune de mes premieres Méthodes; cependant cette derniere invention pour augmenter la force dans ceux qui virent le Cabestan, mérite considération; parce qu'elle donne un moyen certain de mettre à la circonférence un nombre d'hommes double de ce qu'on y a mis ci-devant, & cela avec beaucoup de facilité.

NB. L'autre remarque que je ne puis m'empêcher de faire, c'est que ma troisiéme Méthode non-seulement ne requiert pas l'allongement du Treuil, mais bien loin de cela, il sera plus facile d'arranger & de servir les deux tournevires dans un Treuil court que dans un long; car un homme seul de moyenne ou de petite taille, suffira pour

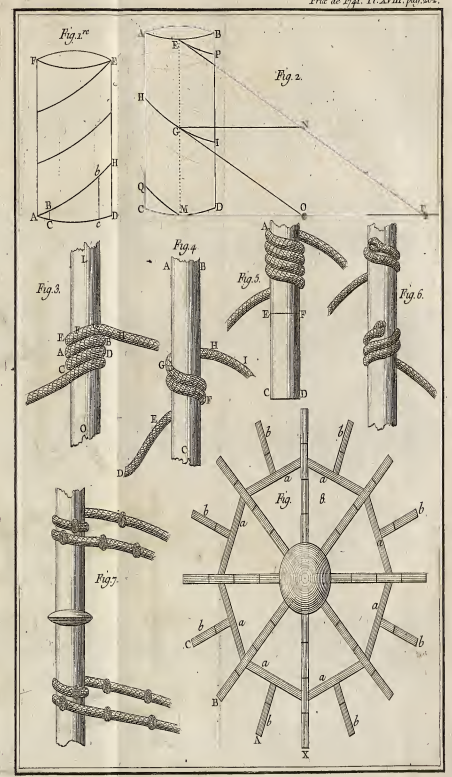
(*a*) Observez que l'on peut même se contenter de lier le bout du quart de barre, avec la barre qui est par derriere, eu égard au virage; car alors en travaillant sur le quart de barre, il ne pourra pas se démancher étant attaché avec la barre qui est derriere lui, à moins qu'il n'entraîne celle-ci, ce qui est impossible.

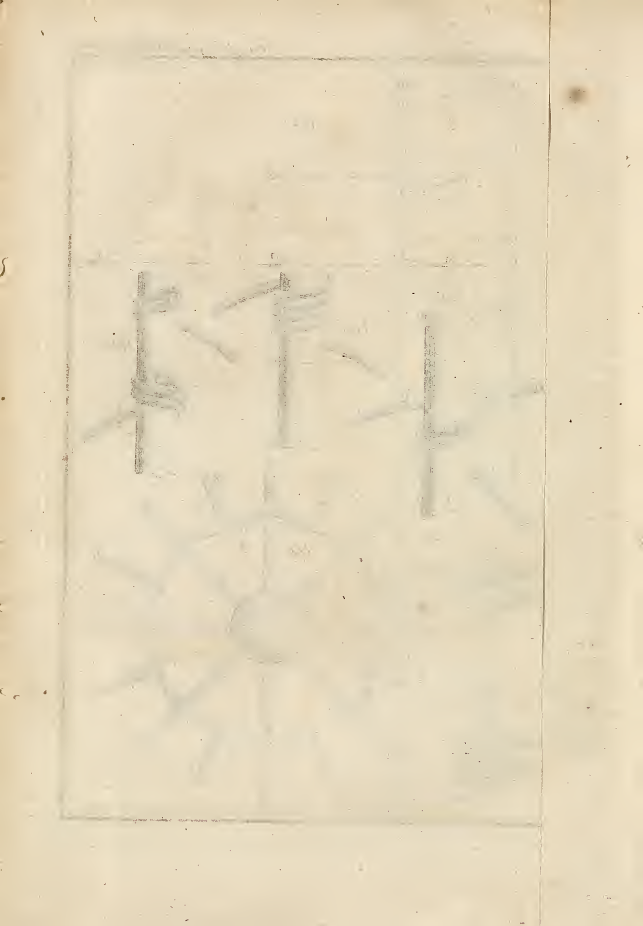
cela : ainſi toutes les difficultés qu'on pourra faire contre l'allongement des Treuils, & contre les moyens que je propoſe pour les rendre plus longs, ne tombent en aucune façon ſur ma troiſiéme Méthode ; qui outre cela peut profiter, ſans nulle difficulté, de ce que je viens de propoſer pour doubler le nombre des hommes à l'extérieur des barres ; ainſi par cette ſeule derniére invention, jointe avec la troiſiéme Méthode, je penſe avoir ſuffiſamment réſolu le problême, tant par rapport à la ſuppreſſion du choc, que pour l'augmentation de la force ſans perte de tems.

Quatriéme Méthode.

J'ai encore deux Méthodes à propoſer ; elles ne ſont pas toutefois ſi avantageuſes que celles que j'ai expliquées en dernier lieu ; mais elles peuvent trouver leur place en de certaines circonſtances particuliéres ; car il faut ſe pouvoir ſervir du Cabeſtan en diverſes manieres & en différens cas. D'ailleurs la quatriéme de ces Méthodes a une ſi grande ſimplicité, & la cinquiéme peut être ſi utile dans des uſages du Cabeſtan autres que celui des ancres, que je ne balance pas à les préſenter auſſi-bien que les autres ; ce ſera aux ſçavans Examinateurs de cet ouvrage, & aux Marins, à appliquer chacune de ces Méthodes au ſervice où elle peut être la plus propre.

Cette quatriéme Méthode conſiſte à meſurer de quelle ſorte d'hélice réguliére redoublée eſt capable le Treuil du Cabeſtan, relativement à la groſſeur de la corde qu'on y veut employer ; on a mis ci-devant la maniére très-facile d'avoir cette meſure. Cela étant connu, il faut prendre une corde de la groſſeur qu'il faut, & lui donner préciſément la longueur de l'hélice en queſtion ; puis ayant attaché très-fixement le bout de cette corde à l'extrémité ſupérieure du Treuil, porter l'autre bout vers le cable, & l'y attacher par le moyen du ſerre-cable, en la tenant en même-tems le plus tendue qu'il ſera poſſible ; enſuite il faut tourner le Cabeſtan,


Fig. 1.re
F
E
H
b
A
B
C
c
D
Fig. 2.
A
B
E
P
H
G
N
I
Q
C
M
D
O
F
Fig. 3.
L
E
A
C
B
D
H
O
Fig. 4.
A
B
H
I
G
F
E
D
C
Fig. 5.
E
F
C
D
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
a
b
C
B
A
X



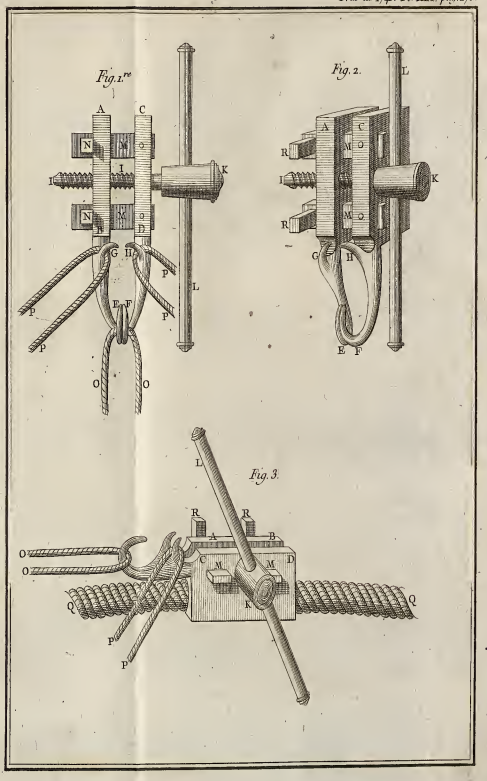
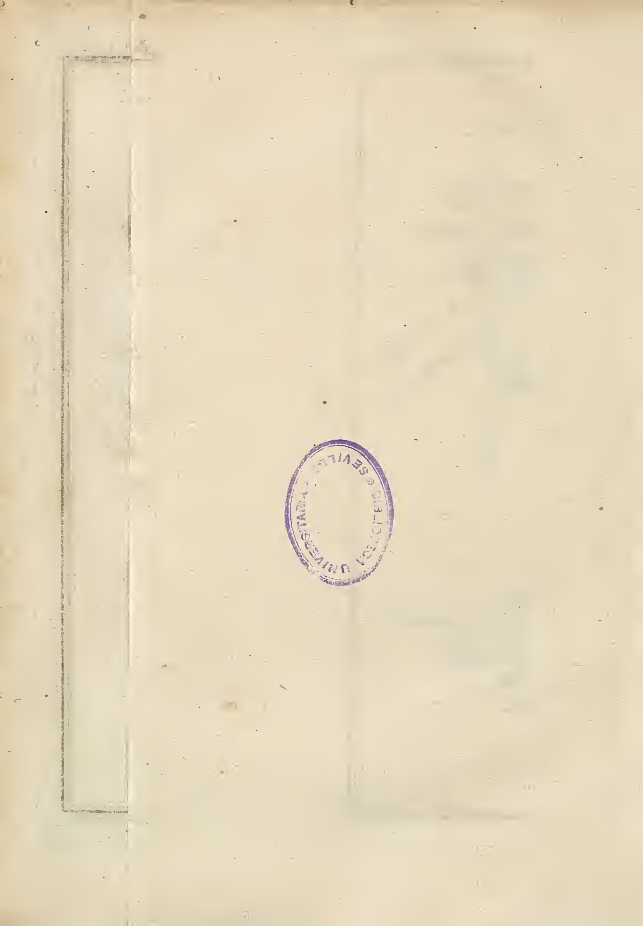
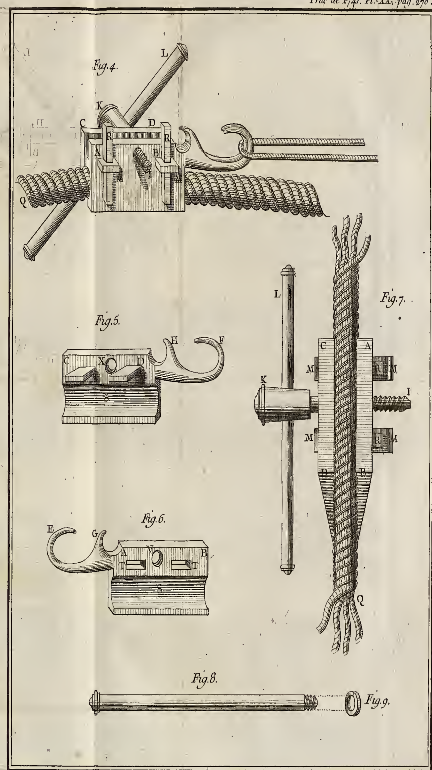
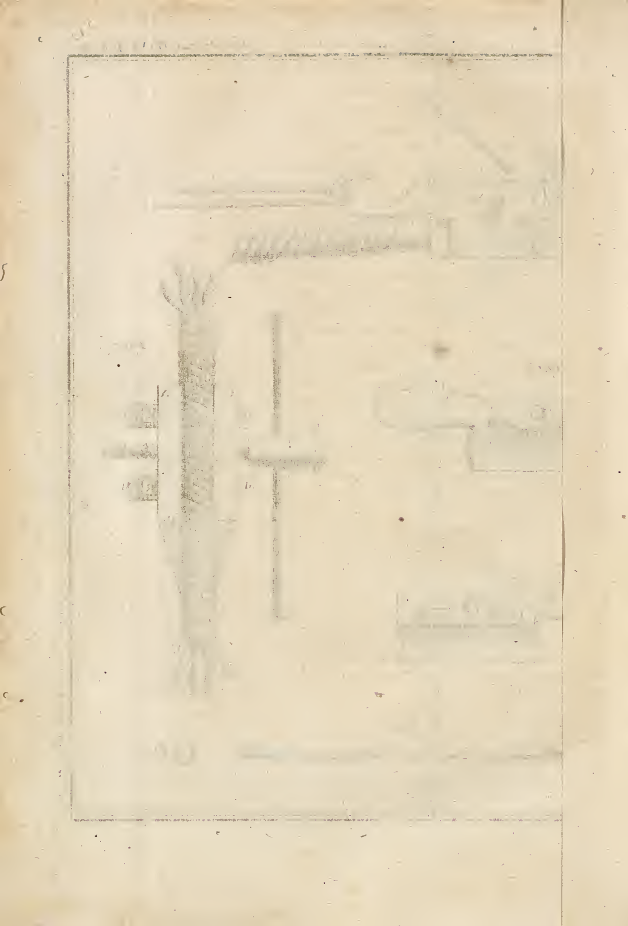


Fig. 1.re
A
C
N
M
O
I
I
K
N
M
O
B
D
G
H
P
P
L
E
F
P
P
O
O
Fig. 2.
L
A
C
R
M
O
I
K
R
M
O
G
H
E
F
Fig. 3.
L
R
R
A
B
O
O
C
M
M
D
Q
K
Q
P
P




Fig. 4.
L
K
C
D
R
R
A
B
I
M
Q
Fig. 5.
H
F
C
X
D
S
Fig. 6.
E
G
A
V
B
T
T
S
Fig. 7.
L
C
A
M
R
M
K
I
M
R
M
D
B
Q
Fig. 8.
Fig. 9.



beſtan, & le ſerre-cable viendra avec le cable & ſon fardeau, & ſe joindra au pied du Cabeſtan, précifément dans le moment que la corde aura achevé d'enrouler tout le Treuil; & (ce qu'il faut bien obſerver,) le cordage viendra avec une uniformité admirable, & ſe garnira ſur le Treuil avec la plus grande égalité poſſible.

Si cette longueur de cordage ne ſuffit pas pour épuiſer la longueur du cable, (comme il y aura bien des rencontres où cela arrivera ſans doute,) alors on arrêtera le cable en ſe ſervant pour cela d'un ſecond ſerre-cable, placé très-proche de l'écubier, c'eſt-à-dire, qu'on l'arrêtera par le moyen des deux crochets latéraux, qui ſont ſur le ſerre-cable, & qui ont été décrits & figurés ci-devant; on mettra des cordes de chaque côté dans ces crochets, & on les attachera à la plus prochaine manœuvre fixe, ou à quelque piéce du vaiſſeau, &c. par-là le cable ſera arrêté en un tems très-court: alors on dégraffera la corde qui étoit attachée au bout du premier ſerre-cable, & le ſerre-cable même; & tirant cette corde à ſoi, & marchant vers le lieu où eſt le fardeau, on fera dévirer en même-tems très-vîte le Cabeſtan, en lui donnant ſucceſſivement quelques ſecouſſes dans le ſens néceſſaire pour cela: puis quand la corde aura repris toute ſa longueur, on l'attachera au cable, comme la premiere fois avec le premier ſerre-cable; & l'on recommencera à virer & à tirer le fardeau, (après avoir ôté les boſſes qui tenoient le ſecond ſerre-cable, afin d'empêcher le retour du poids.)

Il eſt viſible que cette opération eſt des plus ſimples; car elle ne demande autre choſe que de virer tant qu'on peut enrouler de corde ſur le Cabeſtan, ce qui peut être très-conſidérable; car dans les Cabeſtans d'une longueur ordinaire, cela ira à 20 braſſes, plus ou moins, ſi la corde n'a que deux pouces de diamétre; mais ſi elle en a quatre, cela ira à 10 braſſes au moins; & dans les Treuils allongés, comme je les propoſe, cela peut aller à 30 braſſes pour le moins, & peut-être à 40; ce qui mérite une grande atten-

tion ; car ainſi en trois opérations très-ſimples, on attirera un cable de 120 braſſes, ſans ceſſer de virer que deux fois ſeulement dans l'intervalle des trois opérations. (*a*)

La ceſſation du virage qui arrivera à chaque fois que le cordage ſera tout enroulé ſur le Treuil, ſera peu conſidérable, ſi la Machine eſt bien ſervie ; car elle ne demandera que le tems de dégraffer la corde de la queue du premier ſerre-cable, d'en porter l'extrémité vers l'écubier en marchant tout auſſi vîte qu'on le pourra : à meſure qu'on portera cette corde, il ſera facile de faire dévirer le Cabeſtan auſſi promptement qu'on marchera ; & enfin il faudra le tems d'agraffer cette corde à un ſerre-cable, & deſſerrer le cable dans celui-ci, voilà tout ; cela ne demande pas un tems bien long, & cela ſuppléera non-ſeulement à toutes les ceſſations des manœuvres les moins parfaites, mais encore aux peines, au travail & aux forces des hommes, qui ſont néceſſaires pour le petit détail des Méthodes les plus excellentes, & dans leſquelles il faut toujours grand nombre d'ouvriers.

Il faut joindre à tous ces avantages celui de la facilité très-grande, qu'a la corde à ſe garnir ſelon cette Méthode, avec égalité, uniformité, ſans lâcher dans un lieu, ni forcer dans un autre ; ce qui eſt évident par la Théorie expliquée ci-devant.

Cinquiéme Méthode.

Il faut enfin venir à une cinquiéme & derniére Méthode, que je ne propoſe pas pour la levée des ancres, quoiqu'on puiſſe l'y appliquer, abſolument parlant, dans quelques cas extraordinaires; mais bien pour les autres uſages auſquels on peut appliquer le Cabeſtan, comme pour lever les ver-

(*a*) Je ſuppoſe ici pour un moment qu'on ſupprime le virage de l'entrepont, ce qui donnera *6* pieds de hauteur au treuil ; qui ayant d'ailleurs 2 pieds $\frac{1}{2}$ de diamétre (ou environ) (à quoi il faut joindre deux fois le demi-diamétre de la corde,) il s'enſuit qu'on peut enrouler ſur les gros Cabeſtans près d'une braſſe & demie de cordage à chaque tour ; ce qui étant multiplié par la hauteur du treuil, donnera une longueur conſidérable.

gues & les mâts de hune, &c à quoi on employe plus ordinairement le petit Cabeſtan. Dans la plupart de ces opérations, (comme je l'ai déja remarqué plus haut,) il s'agit de lever des fardeaux en haut; on attache ces fardeaux à des poulies doubles ou triples, & le bout de la corde qui doit tirer dans ces poulies, (lequel on appelle *garan*,) eſt appliqué dans les cas de néceſſité à un des Cabeſtans. Il s'agit de tirer ce garant de haut en bas, ce qui rend cette manœuvre très-différente de ce qui a été dit juſqu'ici de la manœuvre des ancres.

La difficulté qu'il y a à éviter ici, eſt comme je l'ai déja dit pag. 246. le *choc*, c'eſt-à-dire, qu'il faut inévitablement que la corde parvienne enfin à l'une des extrémités du Cabeſtan, & qu'elle ne peut être ramenée à l'extrémité oppoſée ſans violence, & ſans perte de tems. Comme il eſt évident qu'on ne peut appliquer ici aucune des Méthodes expoſées ci-deſſus, je me ſuis imaginé qu'on pouvoit y employer une manœuvre qu'on employe ſur les riviéres qui abordent à Paris, pour dégager les coches & autres grands bateaux, quand ils ont le malheur de s'enſabler. Pour lors on prend un petit Cabeſtan très-bas & très-ſimple, (& dont le Treuil n'eſt même, la plûpart du tems, emmanché fixement que dans ſa partie inférieure ;) le collet eſt retenu dans une petite courbure qui eſt pratiquée ſur le bois où il porte : on place ce petit Cabeſtan ſur une berge ou île, en un mot dans quelque endroit fixe, qui ſoit à peu-près de niveau à l'égard du corps du bateau qui eſt engravé, & l'on attache la corde du Cabeſtan au bateau, après lui avoir fait faire trois ou quatre tours ſur le Treuil, & avoir réſervé un bout de cette corde aſſez long pour être tenu par derriére par deux ou trois, & quelquefois quatre hommes, qui ſont aſſis à terre, derriére le Cabeſtan, & s'affermiſſent les pieds & les jambes contre quelque corps ſolide, pour tirer la queue de cette corde avec plus de force ; les choſes en cet état, on vire ſur le Cabeſtan, dans lequel la corde qui mene le fardeau eſt au plus bas du Treuil, mais néanmoins au-deſſus

des tours déja enroulés sur le Treuil ; alors à mesure qu'on vire, la corde du fardeau s'enroule sur le Treuil, & y monte, & l'autre partie de la corde se déroulant à proportion, de l'autre côté que tiennent les hommes, ceux-ci dégarnissent le Treuil par en bas, tandis qu'il se garnit par en haut par la corde du fardeau : en continuant ainsi, la corde parvient au haut, & il faut alors *choquer* ; c'est ce qu'on fait en un instant: car on cesse de virer, & la corde déja enroulée se débandant un peu dès qu'elle n'est plus pressée ; (car elle est élastique ;) elle cesse de s'appliquer immédiatement au Treuil, & elle tombe au bas par sa seule pesanteur, & pour lors on recommence à virer.

Il faut convenir que cette manœuvre est ingénieuse & simple, & il seroit même à souhaiter qu'on pût l'appliquer à la manœuvre des ancres en bien des occasions ; mais il y a une grande différence, en ce que dans l'exemple que j'ai proposé, le poids est traînant, & à peu-près de niveau, au lieu qu'à l'égard des ancres il est pendant, & j'ai déja touché en passant page 225. l'énorme différence qu'il y a entre l'enlévement de ces deux sortes de poids.

D'ailleurs pour l'appliquer aux ancres, il faudroit faire passer le cordage du Cabestan sur une poulie fixe, qui seroit à la hauteur à peu-près des barres du Cabestan, afin de faire monter ce cordage sur le Treuil, depuis son extrémité inférieure jusqu'en haut ; (car nous avons montré plus haut que les cordes ne montent pas dans un Treuil, à moins qu'elles ne soient sur des tours de corde déja garnis en hélice, fort inclinée sur le Treuil, (*a*) ou bien à *moins que la corde ne parte d'un lieu qui soit de niveau avec la partie supérieure du Treuil, sur lequel on la veut faire monter.*

Or il seroit difficile de placer cette poulie d'une maniére absolument fixe & invariable ; & d'ailleurs la corde au lieu d'aller droit, (depuis le lieu qui la joint au cable,) jusqu'au Cabestan, seroit obligée de plier pour monter sur cette pou-

(*a*) Je n'ai pas expliqué ni prouvé en détail cette proposition, parce que j'ai cru qu'elle étoit si évidente, que cela eût été superflu.

lie : je ne parle pas de la difficulté qu'il y auroit à faire passer les fusées de la tournevire sur la poulie ; car on pourroit éviter cela, en rendant la corde toute unie, & en se servant du serre-cable pour unir le cordage au cable.

Il faut donc renoncer à cette idée par rapport à l'ancre ; mais il faut convenir qu'elle peut être très-utile pour les autres fardeaux qu'on veut lever ou traîner par le moyen du petit Cabestan ; comme dans ces operations on se sert déja de poulies doubles & triples, il ne sera pas extraordinaire ni difficile d'y joindre une poulie fixe à la hauteur des barres du petit Cabestan, par-dessous laquelle passera le garant quand il faudra tirer la corde du haut en bas, & par dessus laquelle passera le garant quand il faudra tirer du bas en haut ; cette corde après avoir ainsi passé dessous ou dessus cette poulie (selon l'éxigence des cas,) s'attachera toujours au bas du Treuil du petit Cabestan : elle montera sur ce Treuil par la loi des cordes qui tournent sur des plans qui sont inclinés à leur égard ; (*a*) on réservera à ce garant un bout de corde assez long pour pouvoir être tenu & tiré par derriére par quelques hommes destinés à cet effet, qui améneront cette extremité de corde, à mesure que le côté opposé montera sur le Treuil ; enfin quand la corde sera à l'extrémité supérieure du Treuil, on cessera de virer pendant un moment, pour donner lieu à la corde de se desserrer, & de tomber par son propre poids ; ensorte que cette espéce de choc se pourra faire, pour ainsi dire, de soi-même, après quoi on recommencera à virer, &c.

(*a*) Voyez la note de la page précédente.

Ce 26 Août 1740.

EXPLICATION DES FIGURES.

Pl. II. & III. La premiere figure repréſente le ſerre-cable vû en-deſſus, avec la poſition des cordages dans les crochets de l'arriere, & dans ceux de l'avant.

La ſeconde, montre le même inſtrument vû obliquement, ou des trois quarts.

La troiſiéme, fait voir cette Machine vûe par le côté où eſt le manche de la vis, avec la vûe d'un cable ſortant de part & d'autre des parois qui le compriment.

La quatriéme, la fait voir par le côté oppoſé, qui eſt celui où ſont les coins.

La cinquiéme, eſt l'intérieur d'une des parois, de celle où ſont les barres faites en parallelepipede.

La ſixiéme, eſt l'intérieur de la paroi oppoſée, où eſt l'écrou, & les ouvertures pour recevoir les barres.

La ſeptiéme, fait voir la Machine en-deſſous, & un cable qui eſt viſiblement comprimé & rendu ovale par la compreſſion, de rond qu'il étoit auparavant.

La huitiéme, eſt la figure de la clef de la vis; on l'a fait mobile, comme on fait dans les étaux; mais comme on peut avoir beſoin de l'ôter, on a fait l'un des bouts amovible, c'eſt la *Fig. 9.* laquelle on attache à la clef par le moyen d'un petit écrou qu'on y a ménagé, & qui répond à une petite vis qui eſt au bout de cette clef.

On s'eſt ſervi des mêmes lettres pour déſigner les mêmes parties dans toutes les figures.

AB. La paroi gauche qui porte l'écrou.

CD. La paroi droite qui porte les barres ou attaches parallelepipedes.

EF. Sont les crochets de l'arriere, ſçavoir *E* de la paroi gauche, & *F* de la droite.

GH. Crochets de l'avant, ſçavoir *G* de la gauche, & *H* de la droite.

I. La vis, *K* son manche, *L* sa clef mobile.

M M. Les deux barres faites en parallelepipedes.

N N. Les trous qui sont au bout desdites barres pour recevoir les coins *R R.*

O O. Cordage qui sera attaché aux crochets de l'arriere, qui ira s'enrouler sur le Cabestan.

P P P P. Cordages qui serviront à arrêter le cable en s'attachant aux crochets latéraux.

Q Q. Le cable qui est pressé entre les deux parois.

S S. Les deux rainures creusées elliptiquement dans les parois pour recevoir en partie le cable, & le comprimer.

T T. Les ouvertures faites dans la paroi gauche pour recevoir les barres parallelepipedes.

V. L'écrou.

X. Le trou par où on introduit la vis.

Figure des barres d'un Cabestan à quatre grandes barres, ou à huit demi-barres, & auquel on a appliqué huit entre-barres, & huit quarts de barres.

Le cercle du milieu représente la tête du Cabestan, plus grosse que son treuil. *Pl. I.*

Les entre-barres sont marquées *a.*

Et les quarts de barres *b.*

Les petites marques noires représentent le point d'appui des hommes qui tournent.

Si l'on vire de *A* en *B*, & de *B* en *C*, il faudra pour empêcher que l'effort fait sur le quart de barre *A* (par exemple) ne le démanche ; il faudra, dis-je, attacher ce quart de barre avec le bout de la barre qui est derriere marquée *X*, avec une corde suffisamment forte, ce qui rendra ce quart de barre aussi solide que la barre même.

Quand on voudra exécuter cette maniere de poser des entre-barres & des quarts de barres, il faudra observer que les branches ne soient ni trop hautes ni trop basses, par

rapport à la hauteur d'un homme ordinaire ; car ſi elles étoient trop baſſes, les hommes en travaillant s'appuyeroient deſſus, ce qui pourroit les faire plier ; il faut donc qu'elles ſoient à la hauteur de l'eſtomach d'un homme de ſtature médiocre.

FIN.

CABESTAN

CABESTAN
A ECREVICES,
ET CABESTAN
A BRAS.

L'un & l'autre accompagnés d'un modéle.

Piece qui a concouru au Prix de l'Académie Royale des Sciences.

Plus il me résiste, mieux je le saisis. G 8. M 4. D 6.

Par M. DELORME, de l'Académie de Lyon.

CABESTAN
A ECREVICES,
ET CABESTAN A BRAS.

Plus il me résiste, mieux je le saisis. G 8. M 4. D 6.

L'UTILITE' importante du Cabestan sur les vaisseaux pour tirer les ancres, pour guinder les vergues, & son fréquent usage par-tout où une grande force est nécessaire, soit pour amener, soit pour élever de pésants fardeaux, méritoit bien l'attention de l'Académie Royale des Sciences, pour procurer à cette Machine la perfection qui lui est nécessaire à l'usage de la Marine, en proposant, comme elle a fait, pour sujet des deux Prix des années 1739. & 1741. les meilleurs moyens de corriger le Cabestan de deux inconvéniens ordinaires qui s'y rencontrent lorsqu'il faut choquer ou mettre haut. Voici ce qui m'en a été expliqué.

Choquer se dit quand on lâche un peu le retour de la tournevire, ce qui donne au cordage la facilité de faire plusieurs tours à rebours sur le Cabestan, & de remonter de lui-même vers le haut de la fusée où il trouve une plus petite circonférence, ce qui se réitere toutes les fois que la tournevire est descendue au plus bas de la fusée. Cette opération de lâcher ainsi la tournevire, fait retourner le poids en

arriere avec une secousse qui feroit capable de casser la vergue ou la patte d'ancre & la tournevire elle-même; c'est pourquoi on n'en use ainsi que pour les petits fardeaux, & pour lesquels c'est toujours un inconvénient.

Mettre haut, se dit quand la tournevire étant parvenue au plus bas de la lanterne ou fusée, on abosse le cordage en avant du Cabestan, c'est-à-dire, on le retient fortement avec ce qu'on appelle des bosses, tandis qu'on dégarnit les tours supérieurs de la tournevire, & qu'on éleve les trois ou cinq tours au haut pour continuer ensuite à virer le cable jusqu'à ce qu'il faille de nouveau remonter la tournevire. L'on en use ainsi pour lever l'ancre, guinder une vergue, &c. ce qui fait perdre au vaisseau par le tems qu'on employe à mettre haut, le peu d'erre qu'il avoit pris par les premiers coups de Cabestan quand on vire sur un ancre.

Ainsi les deux inconvéniens du Cabestan ordinaire à l'usage des vaisseaux, sont, 1°. de faire retourner le poids en arriere quand on choque; 2°. de faire perdre au vaisseau le peu d'erre que lui avoit donné le premier coup de Cabestan en virant sur l'ancre, ce qui arrive quand on met haut; & c'est à quoi l'Académie voudroit qu'on pût remédier. Elle demande donc un Cabestan qui n'ait ni l'inconvénient de choquer, ni celui de mettre haut; c'est-à-dire, tel qu'on pût virer sans secousse & sans interruption. C'est ce qui fait l'objet de ce Mémoire & du Prix proposé. J'ai eu à ce sujet deux idées pour deux Cabestans, qui m'ont parû également propres à satisfaire les vues de l'Académie; je les ai exécutées par deux modéles, desquels je vais faire suivre la description dans l'ordre du tems de leur invention.

CABESTAN A ECREVICES.

Ce Cabestan est composé d'une tête, d'une lanterne & d'un pivot: la tête & le pivot sont les mêmes que dans le Cabestan ordinaire; il ne s'y trouve de la différence que dans la construction de la lanterne ou fusée, qui renferme

ſeule l'artifice propre à virer ſans ſecouſſe & ſans interruption par les manœuvres ordinaires.

Cette lanterne ou fuſée ſe préſente par un renflement de ſix pouces ſur le fut du Cabeſtan, dont il occupe ſeize pouces en hauteur ; on peut lui en donner davantage s'il eſt néceſſaire pour la renforcer. Ce renflement eſt partagé également ſur ſon contour par une canelure large & profonde de ſix pouces, & arrondie dans le fond. Ce renflement eſt encore ouvert dans la direction de l'axe du Cabeſtan par ſix canelures profondes juſqu'au fut, & larges de deux pouces ſix lignes, toutes également eſpacées, que nous appellerons *canelures droites.* Le Cabeſtan eſt percé diamétralement à jour par trois mortaiſes qui ſe croiſent au centre, & dont les ouvertures répondent aux interſections des ſix canelures droites avec la grande canelure du contour. Leur hauteur eſt de ſix pouces, leur largeur de deux pouces ſix lignes, & leur profondeur de douze pouces, diamétre du fut. Les deux parties ſupérieure & inférieure du renflement ſéparées par la grande canelure, ſont taillées en moulures. La premiere repréſente un talon renverſé, & l'autre un talon droit, ayant cinq pouces de hauteur, & trois de profondeur ; l'une & l'autre exigeroient un cercle de fer pour renforcer & entretenir leurs parties. Il faut maintenant voir l'utilité de ces mortaiſes & canelures.

La grande canelure du contour du renflement ou lanterne, eſt pour recevoir la tournevire qui doit envelopper la moitié de la lanterne. Les trois mortaiſes ſont pour loger trois écrevices qui ſervent, à l'aide de leurs pinces, à ſaiſir & faire paſſer la tournevire ſur la lanterne. Les canelures droites ſont deſtinées pour recevoir & maintenir les pinces d'écrevices dans leur jeu, & pour y loger des roulettes pour leur ſervice. Tout cela demande les explications ſuivantes.

La tournevire doit avoir ſes nœuds ou olives eſpacés de trente-ſept pouces huit lignes de centre à centre pour un Cabeſtan de douze pouces de diamétre. La longueur de ces nœuds doit être reſtreinte à trois pouces ſix lignes, & ſi

on ne les eſtimoit point aſſez ſolides, l'on pourroit en doubler le nombre en les eſpaçant de dix-huit pouces dix lignes de centre à centre. L'on ſe trouve aſſujetti à cette diſpoſition & à cette longueur des nœuds, afin qu'ils puiſſent toujours être placés entre les têtes des écrevices, & non au-devant, & qu'il ſe trouve un nœud ſur la demi-circonférence de la lanterne; cette derniere condition n'eſt cependant pas néceſſaire.

J'appelle *Ecrevice*, l'artifice qui ſaiſit & fait paſſer la tournevire ſur la moitié de la circonférence de la lanterne, pendant que le Cabeſtan vire. Je lui ai donné ce nom, par le rapport que ſa figure & ſes effets ont de commun avec le poiſſon de ce nom. Il eſt logé dans une mortaiſe, où il ſe meut par un mouvement de couliſſe qu'il fait à reculons. Il eſt compoſé d'un corps & de quatre pinces mobiles, deux à chacune de ſes extrémités. Le corps eſt un parallelepipede propre à remplir la mortaiſe, ſauf ſon jeu néceſſaire au mouvement. Sa longueur eſt de dix-ſept pouces, ſa largeur de deux pouces ſix lignes, & ſa hauteur ou épaiſſeur de ſix pouces. Dans cette longueur de dix-ſept pouces, ſont compriſes à ſes deux extrémités deux parties ſaillantes, que j'appelle *tête* & *queue*, ce qui eſt dit relativement à leur fonction, puiſque l'une eſt égale & ſemblable à l'autre. Elles ſont ſur le prolongement de l'axe du parallelepipede, & diſtinguées du corps par leur figure, qui vue de profil, eſt un triangle émouſſé par un arc rentrant; ſa longueur eſt de deux pouces ſur deux pouces de largeur & épaiſſeur. Ces têtes & queues ſont toujours ſaillantes hors de leurs mortaiſes; la queue de dix-huit lignes, & la tête de trois pouces ſix lignes lorſque la tournevire eſt chargée de nœuds; & la ſeule tête ſaillante de deux pouces pour des tournevires ſans nœuds, comme dans le modéle. La tête fait avec les épaules deux angles rentrans, l'un ſupérieur & l'autre inférieur; car il faut ſe figurer une écrevice couchée ſur le côté. Dans chaque angle eſt creuſé un ſinus cylindrique ouvert ſur ſa longueur du tiers de ſa circonférence, pour l'articulation des pinces.

Les pinces de l'écrevice ſont égales & ſemblables ; ce ſont autant de ſecteurs de cylindre avec des coupes que l'on ne peut mieux décrire, qu'en rapportant des opérations ſuppoſées, qui auroient pû être employées à leur conſtruction.

Un cylindre de cinq pouces de rayon, & de deux pouces ſix lignes de hauteur, a été coupé en dix ſecteurs égaux pour dix pinces. Ils ont été mis les uns ſur les autres en pile bâſe ſur bâſe. Après avoir un peu émouſſé l'angle rectiligne de cette pile, l'on y a uni & incorporé une baguette cylindrique d'un pouce de diamétre, que l'on a coupée en dix portions égales par les ſections que ces ſecteurs ont entr'eux, de ſorte qu'il eſt reſté à chacun de ces ſecteurs une portion de baguette égale à ſa hauteur. Enſuite par la ſection d'un plan perpendiculaire à leur bâſe, on a retranché de cette pile une portion ou priſme triangulaire, ayant le tiers de l'arc du ſecteur pour bâſe aux deux côtés qui font appui deſſus ; ces côtés ont trois pouces de longueur. Après ce retranchement du priſme, un canal d'une portion cylindrique eſt creuſé ſur le plan de la ſection par un arc qui appartient à une circonférence de trois pouces de diamétre, dont il peut avoir près du tiers. Dans cette courbure l'on fait des rainures paralleles à la bâſe de la pile, cinq ſur le premier ſecteur, quatre ſur le ſecond, cinq ſur le troiſiéme, & quatre ſur le quatriéme, ainſi de ſuite par alternative ; ces rainures profondes de deux à trois lignes, & larges de trois à quatre, ſont percées de trois ou quatre trous dans le fond. Elles ſont ainſi préparées pour recevoir de petites cordes gaudronnées qui doivent remplir & ſurmonter ces rainures. Par cette maniere de procéder à la conſtruction des pinces, on peut s'en retracer une image, & d'autant plus facilement qu'elle devient ſon propre ouvrage. Il faut à préſent joindre les pinces au corps de l'écrevice. La baguette de la pince ſert à cette articulation ; étant reçue dans le ſinus cylindrique de l'épaule qu'elle enfile & qu'elle remplit avec jeu, elle a un mouvement de charniere qui lui fait parcourir

plus de deux pouces à ſon extrémité. La tête & la queue ont chacune deux pinces, l'une à l'épaule ſupérieure, & l'autre à l'épaule inférieure, ayant attention que leurs cavités ſoient tournées du côté de la tête; il en eſt de même de celles qui ſont à la queue. Elles s'ouvrent en s'éloignant de la tête, & ſe ferment en s'en approchant juſqu'à faire appui deſſus; elles s'étendent de trois pouces au-delà de la tête; l'on doit voir ce mouvement ſemblable à celui d'une écrevice couchée ſur le côté.

Au-deſſus de la pince ſupérieure dans la canelure droite, eſt logé une roulette de quatre pouces de diamétre, de la longueur de deux pouces ſix lignes, ayant une canelure large de ſix lignes, & profonde d'un pouce ſur ſa circonférence qu'elle partage en deux également. Cette roulette eſt enfilée par un eſſieu d'un pouce de diamétre. Son uſage eſt pour diminuer le frottement du dos de la pince; j'appelle *dos*, ce qui eſt oppoſé à la cavité. Au-deſſous de la pince inférieure, eſt placé de la même maniere une roulette ſemblable; il en eſt de même à toutes les pinces des trois écrevices qui compoſent l'artifice de cette Machine. Toutes ces pieces ſont néceſſairement de fer, pour la force qui leur eſt convenable. Paſſons à l'explication de la propriété de ces écrevices.

Les Ecrevices ſont propres à ſaiſir & faire paſſer la tournevire ſur la lanterne. Pour y recevoir ce cordage, les pinces ſont ouvertes & tenues relevées par des cordons attachés à leurs roulettes, paſſant dans leur canelure, ce qui ne les empêche point de s'abaiſſer, puiſque de ſécantes elles deviennent alors rayons à l'égard du cercle de cette roulette. La tête de l'écrevice eſt ſaillante dans la grande canelure, & le corps logé & caché dans la mortaiſe, ce qui eſt le même pour les trois écrevices. Dans cet état la tournevire étant appliquée ſur la moitié de la circonférence de la lanterne & dans la grande canelure, ayant eu l'attention de placer le premier nœud entre deux têtes d'écrevices, & non au-devant, ce qui donne lieu aux autres nœuds de ſe placer

placer toujours de même; ce cordage faisant appui contre les trois têtes qui sont sur cette demi-circonférence, par le moyen des hommes placés sur le retour pour un ou deux tours seulement du Cabestan, la tournevire sera d'autant plus appui sur les trois têtes, qu'elle trouvera de résistance dans sa traction. Pour lors les trois écrevices reculeront de deux pouces dans leurs mortaises par un mouvement de coulisse causé par l'effort de cette pression, jusqu'à ce que le cordage soit parvenu à faire appui sur la lanterne. Pendant le mouvement de l'écrevice qui va en arriere, les pinces qui tiennent au corps sont par elle tirées & la suivent dans sa retraite. Elles se rapprochent pendant ce mouvement, & embrassent la tournevire qui est aussi-tôt fortement serrée dans leurs cavités. L'on apperçoit bien-tôt la cause de cette pression. Les deux pinces forment deux coins couplés & chassés dans un étroit passage, qui font effort par leurs plans inclinés ou dos des pinces contre les roulettes; celles-ci ayant des points invincibles dans leurs essieux, renvoyent tout l'effort contre le cordage, qui en est serré de maniere à ne pouvoir échapper aux pinces tant que la tournevire fera appui sur les têtes; & plus sa pression sera grande, plus elle en sera serrée & retenue. Il ne suffisoit pas de trouver un artifice qui saisît & arrêtât solidement la tournevire sur la lanterne, il falloit encore que ce même artifice pût la quitter & l'abandonner à propos, c'est ce que l'on va voir.

Après que les pinces des trois têtes ont saisi la tournevire, il semble qu'il se présente une quatriéme tête avec ses pinces; mais c'est la queue de la premiére écrevice que nous nommerons toujours *tête*, & ainsi des autres, lorsqu'elles saisissent le cordage, & *queue* au contraire quand elles l'abandonnent; ce qui se fait par opposition diamétrale, car dans le moment que les pinces de la tête saisissent, celles de la queue abandonnent: voici comment. Lorsque la Tournevire fait appui dessus une tête, elle recule avec le corps de 2 pouces, & la queue qui lui est opposée sort & avance en saillie de 2

pouces : de-là les pinces sont repoussées de l'étroit passage où la tête les avoit engagées ; elles s'ouvrent & quittent le cordage, qui se trouve abandonné à lui-même pour suivre sans empêchement la route que l'on a coutume de lui faire tenir jusques à l'écubier. C'est ainsi que le cordage sera saisi & abandonné successivement sans interruption, ni retour en arriére, tant que l'on voudra virer le Cabestan, & sur lequel il n'occupera jamais que la moitié de la circonférence de la lanterne. L'artifice est disposé de maniére que c'est le cordage qui s'y engage, & qui s'en délivre lui-même à propos, sans aucun assujettissement ni manœuvres nouvelles & composées ; l'on peut dire encore que tout s'y passe avec plus de simplicité que dans le Cabestan ordinaire, & avec moins d'hommes, puisqu'il n'en faut point sur le retour de la tournevire.

L'on peut donner à ce Cabestan toute la solidité que l'on croiroit lui être necessaire, sur-tout si l'on doutoit qu'il ne fût trop affoibli par les mortaises de la lanterne ; ce qui peut se faire de deux façons, soit en donnant plus de grosseur à cette lanterne avec des ceintures de fer ; soit en la construisant en fer ; ce qui peut s'exécuter facilement.

Le corps de l'écrevice n'est que trop fort, puisqu'il ne sert proprement qu'à tenir les pinces en raison ; c'est pourquoi l'on n'a pas craint de l'affoiblir dans le milieu, en ne lui donnant que le tiers de l'épaisseur des épaules ; dégrossissement même necessaire pour faciliter leur croisure ; l'on aura soin d'arrondir les têtes par les côtés qu'elles présentent au cordage, afin qu'il n'en puisse être endommagé. Les pinces ont une force plus que suffisante par leur largeur & par leur épaisseur, pour soutenir l'effort qu'elles font entre les roulettes & le cordage : d'ailleurs elles sont épaulées par les moulures qui soutiennent tout l'effort de la traction. Elles peuvent sans inconvénient avoir le mouvement latéral que lui donnera la traction du cordage, puisqu'elles y sont propres par la construction de leur charniére ; les baguettes coulant avec facilité dans leurs sinus.

Les roulettes & leurs essieux ont de leur part une force capable de tous les efforts qu'ils doivent soutenir; les essieux ayant un pouce de diamétre sur deux pouces six lignes entre leurs appuis.

Les rainûres des pinces ne sçauroient écorcher le cordage étant garnies de petites cordes gauderonnées en la maniére qu'il a été dit ; au contraire ces petites cordes toucheront seules le cordage avec lequel elles s'uniront assez fortement dans le tems de la pression des pinces, pour ne faire avec lui qu'un même corps ; & cela d'autant mieux que c'est corde contre corde. L'on peut dire que l'assemblage momentané des pinces & du cordage, fait un nœud aussi solide que les nœuds ordinaires de la tournevire, avec l'avantage d'être retenu sur la lanterne avec toute la sûreté possible. L'on ne doit pas craindre que la tournevire puisse riper avec des nœuds de cette espéce, & encore moins si la lanterne se trouve chargée d'un nœud de la tournevire, ce que j'insiste n'être pas necessaire à cet effet.

Les pinces propres aux gros cordages ne pourront pas servir également aux petits, il faudra leur substituer d'autres pinces qui puissent se rapprocher davantage, pour faire une pression suffisante sur les petits cordages ; pour cela elles seront plus épaisses afin de leur donner, par l'épaisseur, des approches proportionnées à l'usage des autres cordes. La dépense de cet artifice ne doit pas être un obstacle à son exécution, puisqu'elle ne peut être que médiocre par le peu de valeur, la petite quantité de matiére, & la façon qu'il faut pour sa construction.

Cette Machine réunit parfaitement tous les avantages que l'Académie a voulu procurer au Cabestan. Tirer sans interruption & sans secousse, être propre à tous les usages du vaisseau ; ç'a été l'objet de ses vûes & celui de mes recherches : l'expérience m'apprend que j'ai heureusement réussi, je souhaite que son jugement le confirme.

Le Cabestan à écrevices ne réunit pas seulement tous les

avantages qui sont propres, sans inconvénient, à l'usage de la Marine, parmi lesquels je pourrois compter celui de sa simplicité, & celui de sa commodité dans la manoeuvre, où l'on n'est point embarrassé par la traction du cordage, qui se trouve toujours à six pouces près du pont, dans une même direction, qui est la même pour le retour, auquel il n'est pas necessaire qu'aucun homme y soit appliqué : mais il a des avantages ailleurs aussi utiles & plus fréquens, sur les ports, dans les chantiers, dans les arsenaux, & dans toutes les Machines considérables où il faut une grande force pour tirer, pour élever d'immenses fardeaux; soit que l'arbre soit vertical ou horizontal, il produira par-tout son même effet : ce qu'il peut avoir de plus estimable dans toutes ses opérations, c'est de maintenir la traction dans une même & constante direction, & cela sans fin. Il n'est presque point de Machine où il ne devienne utile & necessaire : ce Cabestan seroit très-propre pour faire remonter les barques sur les riviéres dans les passages difficiles, sous les ponts, soit qu'il fût monté sur la barque, soit qu'il fût placé sur le rivage. Il me paroît préférable à ces Machines qui remontent les bateaux sur la Seine ; la manoeuvre peut s'en faire avec beaucoup d'avantage par-tout où l'on peut y employer des chevaux.

L'on doit sentir que tant d'avantages réunis dans une seule Machine mériteroit une récompense, outre celle du prix, s'il lui est adjugé, proportionnée à toutes ses importantes utilités : si je n'ai pas le bonheur de la voir couronnée, j'espere que j'aurai celui de la voir protégée par l'Académie, & m'appartenir par un privilége exclusif, comme Auteur de cette invention. Il faut passer à la preuve de tous les avantages attribués à cette Machine, je veux dire au calcul de sa force & de ses effets.

Résultat du Calcul.

1°. De la résistance de la pression de la tournevire, sur la demi-circonférence de la lanterne.

2°. De la preſſion des pinces ſur la tournevire, & de ſa réſiſtance au poids.

La lanterne a de rayon ſix pouces, ſa demi-circonférence dix-huit pouces dix lignes; l'ouverture des canelures droites deux pouces ſix lignes; l'eſpace entre ces canelures trois pouces neuf lignes : la tête de l'écreviſſe prend ſur la circonférence un arc de trente lignes; les roulettes ont quatre pouces de diamétre, & leurs eſſieux un pouce. La raiſon de la moitié de la circonférence de la lanterne à la pince, eſt de deux cens vingt-ſix à trente: le plan incliné de la pince dans ſa preſſion eſt de quinze dégrés, il peut s'abaiſſer juſqu'à treize, environ.

De la réſiſtance de la preſſion de la tournevire ſur la lanterne.

La tournevire étant paſſée ſur la moitié de la circonférence de la lanterne, on ſuppoſe que ſa traction ſe fait d'un côté par une puiſſance, & de l'autre par un poids de vingt milliers en équilibre avec cette puiſſance : la preſſion du cordage ſur cette demi-circonférence ſera de 62777 livres, dans la raiſon connue du rayon à la demi-circonférence. La réſiſtance de cette preſſion ſera égale au tiers de cette preſſion, ou à 20925 livres.

De la preſſion des pinces ſur la tournevire.

La preſſion ſur la demi-circonférence étant de 62777, elle ſera ſur la tête de l'écrevice de 8333 livres, dans la raiſon de la demi-circonférence à l'arc que prend la tête de l'écrevice ſur cette circonférence.

La tête de l'écrevice eſt ici celle d'un double coin, ou de deux plans inclinés de quinze dégrés dans le tems que ſe fait la preſſion ſur le cordage. L'impreſſion de 8333 que reçoit la tête de ce coin parallelement à ſa bâſe, produira un effort du coin contre les roulettes de 31099 livres; mais la

résistance que le plan trouve par son frottement, doit diminuer d'autant l'effort de ce même plan, c'est-à-dire, du tiers de sa pression, ou de 10366 livres ; mais comme cet effort se fait contre les roulettes, la résistance du frottement en sera moins considérable dans la raison du rayon des roulettes à leurs essieux, ou de quatre à un ; par conséquent réduite à 2591, qu'il faut retrancher de 31099, effort du coin contre les roulettes ; le restant pour la pression effective du coin contre les roulettes sera de 28508 livres. L'on doit entendre que la pression du plan incliné, ou des pinces contre les roulettes, est une même chose que celle du plan contre le cordage, puisque l'essieu de la roulette est un point invincible dont l'effort qui se fait contre, retombe sur le cordage embrassé par la pince. La résistance causée par la pression des pinces sur le cordage peut & devroit vraisemblablement égaler la pression ; car les doigts des pinces étant de cordes gaudronnées comme la tournevire, il ne se doit faire du tout qu'un seul corps ; & si néanmoins la résistance n'étoit estimée que par les trois quarts de la pression, elle seroit de 21381 livres pour chaque tête d'écrevice, ou couple de pinces.

L'on a supposé qu'une puissance appliquée à la tournevire, étoit en équilibre avec un poids de 20000 livres ; l'on a vû ensuite que la résistance de la pression du cordage étoit de 20925 ; par conséquent il faudroit ajouter au poids de 20000 livres, un autre poids de 20925 livres pour rompre cet équilibre.

Si à la puissance supposée on substitue une tête d'écrevice dont la pression connue de ses pinces est de 21381, cette tête ou couple de pinces pourra, avec la résistance de la pression de la tournevire sur la lanterne, soutenir le poids de 40925 livres, & cela indépendamment des deux autres têtes d'écrévices, qui auront chacune une force égale de 21381 livres ; force plus que suffisante pour le service du vaisseau, & qui pourroit donner lieu à la suppression d'une écrevice, s'il n'étoit plus à propos de la laisser pour la con-

servation du cordage; & c'étoit ce qu'il falloit démontrer.

L'on pourroit démontrer encore que la force des écrevices seroit toujours plus grande que tous les poids dont le Cabestan pourroit être chargé; observation qui a donné lieu à la devise de ce Mémoire.

Je ne donne point de calcul de la résistance de la tournevire, des frottemens du pivot & de la tête du Cabestan, du pliement du cordage, puisque je n'y change rien, ni à la puissance nécessaire pour les vaincre; toutes choses à cet égard demeurant les mêmes.

MODELE.

Le modéle porte une inscription de la devise de ce Mémoire, & du nom distinctif de *Cabestan à écrevices*; il est réduit au quart environ d'un Cabestan de douze pouces de diamétre; ce qui concerne seulement la fusée ou lanterne, car pour sa hauteur on l'a réduite à celle d'un vindas monté dans sa cage. La corde qui l'accompagne est dans le même rapport du quart de la tournevire: elle n'a point de nœuds, parce que les épreuves que l'on peut y faire n'en sçauroient exiger. Les pinces des écrevices ne sont pas garnies de cordelettes dans leurs rainûres, comme on l'exige dans le Mémoire, n'ayant pas eu le tems pour cela. L'articulation des pinces doit être cachée dans la mortaise, lors même que les pinces sont ouvertes; le modéle n'a pas cette perfection. Le petit rouleau qui est à l'entrée de la cage, sert pour la direction du cordage. Le trou qui traverse la tête, est destiné pour une corde qui doit arrêter la barre nécessaire pour faire les épreuves.

CABESTAN A BRAS.

Ce Cabestan a sa fusée exactement cylindrique, & au reste il est en tout semblable au Cabestan ordinaire. Sur cette fusée sont appliqués deux cordages de la grosseur de la tournevire, que je nomme *bras*, parce que les fonctions en sont

ſemblables à ceux de l'homme par la manœuvre de ce Cabeſtan. Ils operent l'un & l'autre alternativement, & tirent le cable même, ſans ſecouſſe & ſans interruption bien ſenſible. L'un & l'autre bras ſont arrêtés ſolidement ſur la fuſée; le premier au plus haut, & le ſecond au plus bas. Leur enveloppement s'y fait dans des directions oppoſées; d'où il arrive que lorſque l'un s'enveloppe, l'autre ſe dévide; & à cet effet on vire alternativement à droite & à gauche. Quand le premier bras a garni la fuſée de haut en bas, l'on vire dans la direction contraire, & le ſecond bras garnit la fuſée de bas en haut; ce que l'on continue alternativement juſqu'à ce que le cable ait apporté l'ancre.

Ces bras ſaiſiſſent ſucceſſivement le cable par le moyen de leurs mains, qui ſont des tenailles de quatre pieds de longueur environ, dont le tiers eſt pour les pinces, & les deux autres tiers pour les branches. Les pinces ſont creuſées par un canal, moitié cylindrique ſur leur longueur, & qui forme le canal entiérement cylindrique par leurs approches. Elles ſont garnies de doigts ou petites cordes gaudronnées logées dans des rainûres paralleles à la bâſe de ce cylindre. La pince eſt diſpoſée de maniere que les branches étant couchées ſur le cable, ſes deux parties s'approcheront latéralement du cable, qui ſera reçû dans leur canelure, & ſerré dès que le Cabeſtan donnera de la tenſion au bras; ce qui ſe fait ſi fortement que les tenailles ne quittent point le cable tant que dure la traction & l'enveloppement du bras ſur le Cabeſtan. Pour lors on aboſſe ce bras en avant ou en arriere de la foſſe au cable, ou enfin en tel autre lieu qui paroîtra le plus commode. A cet effet deux crémailléres de la longueur d'environ quatre pieds taillées en dents de ſcie, ſont poſées & arrêtées parallelement ſur le pont comme un poulain, près l'une de l'autre, d'environ ſix pouces, placées dans la direction du bras & au-deſſous. Auprès de ces crémailléres doit être toujours placé un inſtrument de fer, ayant la figure renverſée de la lettre *T*, que je nommerai par cette lettre, dont la tête eſt d'un pied de long,

long, & la jambe d'un pied & demi, & fourchue par le bout en croiſſant. Dans le tems que le bras va terminer ſon enveloppement, un homme prend le *T*, met ſa tête en bas & en travers des deux crémailleres, préſente le croiſſant de la jambe du *T* au cordage, qui s'en trouve embraſſé. En même tems cet homme enfile deux trous qui ſont aux extrémités du croiſſant avec un boulon qui paſſe ſur le cordage, de maniere que ce cordage paroît être enfilé comme dans un anneau. Ce croiſſant ſe met toujours au même point du bras que je nommerai poignet. Il doit y avoir deux nœuds, l'un devant & l'autre derriere le croiſſant, pour le contenir dans ce point. Le croiſſant eſt pouſſé par le nœud de derriere tant que la traction du bras dure, ce qui fait labourer le *T* en avant ſur les crémailleres. Sa tête qui eſt poſée en travers deſſus, paſſe de cran en cran juſqu'au moment que le Cabeſtan vient à virer à rebours, ce qui ne tarde pas. Pour lors le bras & le cable ſans le *T*, retourneroient plus de deux pieds en arriere juſqu'au moment que le ſecond bras auroit acquis toute ſa tenſion. Et à ce moment la tenſion du premier bras ceſſe, le *T* s'engage à l'inſtant dans les crans des crémailleres, retient le bras par le nœud du poignet qui étoit en avant, de maniere que le cable ne ſçauroit retourner en arriere plus de deux pouces, ce qui ſe fait en gliſſant. Le ſecond bras ſans perte de tems, tire à ſon tour le cable comme a fait le premier, & que l'on aboſſe au même endroit & de la même maniere. Pendant que le ſecond bras tire le cable, on dégage le *T* du premier bras, l'on reporte les tenailles au lieu où elles doivent ſaiſir le cable, & l'on y va à meſure que le bras ſe dévide. L'on continue cette opération juſqu'à ce que le cable ait apporté l'ancre.

La vîteſſe avec laquelle les hommes paſſent d'une direction à l'autre, en quittant leurs barres pour ſe jetter ſur celles qui ſont derriere eux; cette vîteſſe, dis-je, ne peut pas laiſſer appercevoir une interruption bien ſenſible, & le retour en arriere de deux pouces de cable, ne peut faire au-

cune ſecouſſe, parce que le cable ne fait que gliſſer; ainſi l'on ne peut point regarder cette interruption & ce retour inſenſible comme un inconvénient; puiſqu'il ne ſçauroit être nuiſible, & d'autant moins qu'il arriveroit rarement, parce que la traction ſe fait ici de tout l'enveloppement de la fuſée, ce qui ne peut ſe faire dans le Cabeſtan ordinaire à cauſe des trois ou cinq tours qui ſont deſſus.

Je ſuis perſuadé que ſi cette maniere de virer & d'aboſſer avoit été en uſage, l'on ne ſe feroit point aviſé de chercher une plus grande perfection dans le Cabeſtan, & je crois que l'on ne peut guéres ſe flatter d'en trouver une plus ſimple pour tirer le cable ſans tournevire; ce qui me paroît très avantageux.

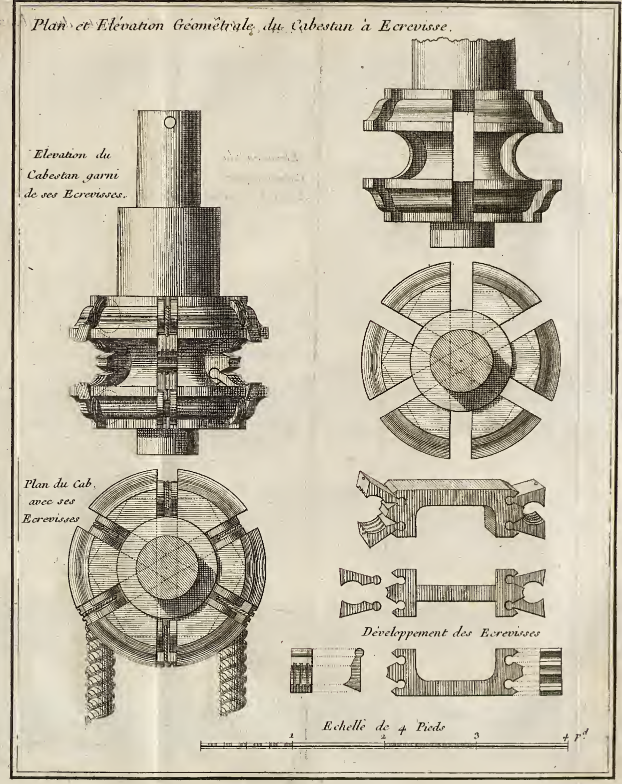
La force des tenailles eſt ſi connue par l'uſage que l'on en fait dans l'architecture, & à l'argue pour tirer les lingots d'argent, que je ſuis diſpenſé d'en donner le calcul pour aſſurer de ſon effet. Les tenailles ne ſçauroient endommager le cable avec la précaution de les garnir de doigts gaudronnés.

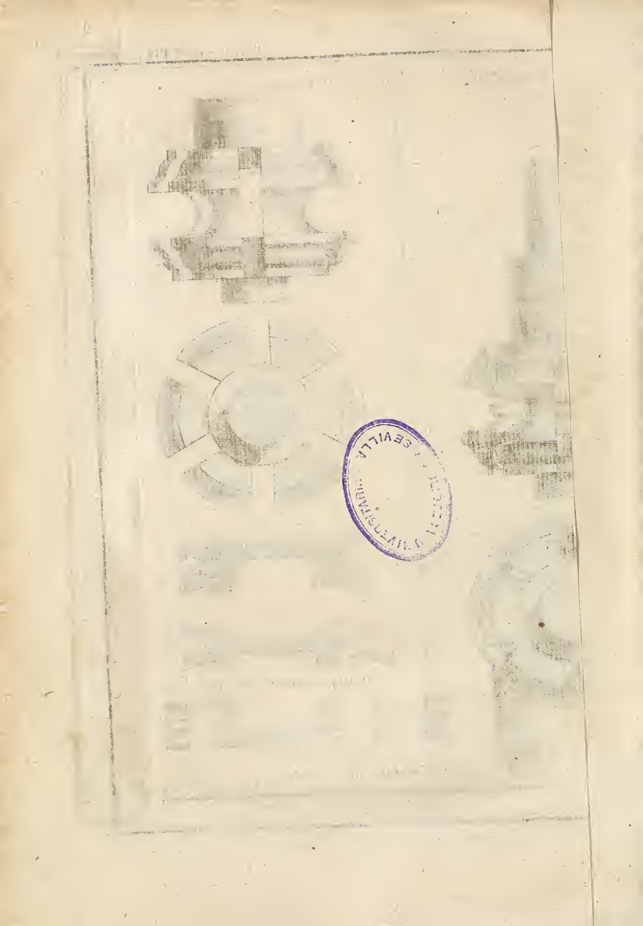
MODELE.

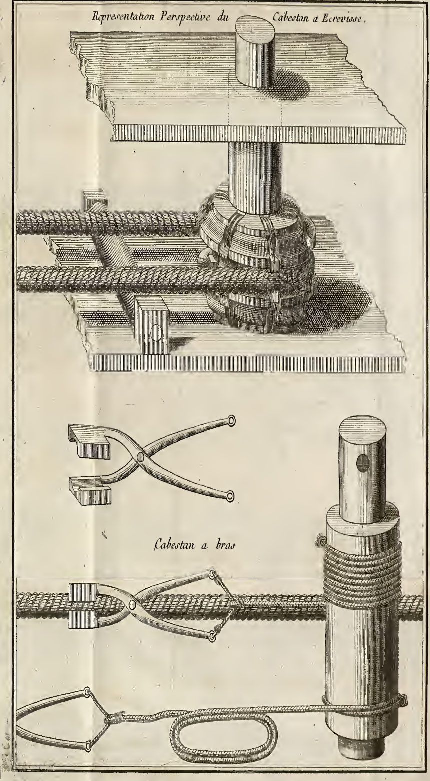
Ce modéle a pour inſcription la deviſe de ce Mémoire, & ſon nom diſtinctif de Cabeſtan à bras. Il eſt réduit au quart pour un petit Cabeſtan, & ſans proportion pour la hauteur qui ſe repréſente par un vindas. La cage de l'autre lui eſt commune. Le modéle des crémailleres du *T* ne s'y trouve point, parce que je n'ai pas eu le tems de les faire exécuter; mais il eſt très-facile de ſe les repréſenter ſans ce ſecours.

AVERTISSEMENT.

J'ai un moyen aſſuré pour appliquer & maintenir ſolidement la tournevire ordinaire & une tournevire ſans nœuds ſur le cable, à l'aide ſeulement de quatre hommes pour toute cette manœuvre. Comme cela n'entre point dans l'objet de ce Mémoire, je ne l'y ai point inſéré, & je ne m'expliquerai là-deſſus que lorſque j'en ſerai requis.


Plan et Elévation Géométrale du Cabestan à Ecrevisse.
Elevation du Cabestan garni de ses Ecrevisses.
Plan du Cab. avec ses Ecrevisses
Développement des Ecrevisses
Echelle de 4 Pieds
1
2
3
4 P.d




Representation Perspective du Cabestan a Ecrevisse.
Cabestan a bras



SUPPLEMENT
A LA PIECE PRECEDENTE.

Manœuvre de Marine pour amarrer & démarrer ſur le cable une tournevire ſans nœuds, pendant que l'on tire l'ancre de la mer, par le ſeul ſervice de deux Matelots, ſur les grands comme ſur les petits vaiſſeaux où l'on emploie depuis cinq juſqu'à douze Matelots pour cette opération.

DANS le Mémoire qui a pour deviſe, *Plus il me réſiſte, mieux je le ſaiſis*, l'on a annoncé un nouvel amarrage d'une tournevire ſans nœuds ſur le cable, qui devoit ſe faire par le moyen de quatre Matelots ; cet amarrage a été perfectionné depuis cet avertiſſement, au point que l'on a ſupprimé deux Matelots, enſorte que deux pourront ſeuls & commodément faire cette manœuvre. Comme cet amarrage eſt très-commode pour le Cabeſtan à écrevices à cauſe de la ſuppreſſion des nœuds de la tournevire, l'on a crû à propos, par cette raiſon, de ne plus différer d'en informer l'Académie, & de prévenir le jugement qu'elle doit rendre ſur les pieces qui concourent pour le prix de l'année 1741.

Pour l'intelligence de ce ſujet, & pour faire connoître les avantages de l'exécution de la nouvelle manœuvre, rien n'a parû plus propre qu'une explication préliminaire de celle qui eſt en uſage pour l'amarrage de la tournevire au cable.

Amarrage en uſage, fait par le ſervice de cinq juſqu'à douze Matelots.

Pour tirer l'ancre de l'eau, l'on n'applique point ſur le Cabeſtan le cable auquel elle eſt amarrée, parce qu'il ne

peut pas à cauſe de ſa groſſeur, ſe plier ſur une ſi petite circonférence; mais l'on emploie à cet uſage la tournevire, dont le diamétre toujours moitié de celui du cable, eſt plus propre à ce pliement. Ce cordage garni de nœuds de quatre en quatre pieds, & ayant les deux bouts réunis ou épiſſé, reſſemble à un chapelet. Il circule depuis l'écubier juſqu'au Cabeſtan ſur lequel il eſt paſſé de pluſieurs tours, & depuis le Cabeſtan par retour juſqu'à l'écubier. Pendant la circulation qu'il s'en fait quand on vire au Cabeſtan, l'on amarre ſucceſſivement la tournevire aux parties correſpondantes du cable depuis l'écubier juſqu'à l'écoutille de la foſſe au cable; c'eſt ainſi que l'on améne le cable, & avec lui l'ancre à laquelle il eſt amarré. Voici comme l'on procéde dans cet amarrage.

Deux Matelots placés près de l'écubier avec de petites cordes plates appellées garcettes, en font deux tours ſur le cable accolé à la tournevire, au-deſſus de l'un de ſes nœuds qui ſervent à la retenir; & après avoir retordu les deux bouts de la garcette, ils la remettent à un Matelot qui la tient en ſuivant le cordage juſques vers l'écoutille de la foſſe au cable, où étant arrivé il la détache & la rapporte aux deux Matelots placés vers l'écubier; ceux-ci ne diſcontinuent point de lier la tournevire au cable, juſqu'à ce que l'ancre ſoit tirée, par autant de garcettes, qu'il ſe préſente de nœuds ſur la tournevire, où ils ſont eſpacés de quatre en quatre pieds.

Sur les plus grands vaiſſeaux on doit employer huit Matelots conduiſant les garcettes, deux ſur le retour qui les rapportent, & deux qui amarrent, ce qui fait enſemble douze Matelots pour faire cet amarrage: & ſur les petits vaiſſeaux, deux ſont placés à l'écubier, deux à conduire les garcettes, & un ſur le retour, & enſemble le nombre de cinq.

Comme cette manœuvre occupe beaucoup de Matelots, & ſouvent dans un tems où ils ſeroient très-néceſſaires au Cabeſtan & à d'autres opérations, il m'a paru que

ce feroit procurer un avantage à la marine que de diminuer le nombre de ces Matelots fans rien changer à la fimplicité & à la folidité néceffaire à cet amarrage.

Les nœuds qui font fur la tournevire pour retenir les garcettes, font une réfiftance en paffant fur le Cabeftan, qui exige une plus grande force fur les barres pour la vaincre. Il feroit donc encore très-utile de fupprimer ces nœuds, fi l'on pouvoit fans eux amarrer folidement la tournevire au cable; ce qui ne fçauroit rencontrer de difficulté de la maniére qu'on veut l'exécuter.

Ces deux fuppreffions ont été l'objet de mes recherches, & parce que le fuccès a paru répondre à mes foins, elles deviennent le fujet de ce Mémoire; ce qu'il faut expliquer.

Amarrage propofé à faire par le fervice de deux Matelots, avec une tournevire fans nœuds.

Pour amarrer au cable la tournevire fans nœuds, on la fera paffer à fon retour du Cabeftan fur un tour ou fur une poulie arrêtée horizontalement près de l'écubier; cette poulie doit être difpofée de maniére à diriger, & à mettre la tournevire immédiatement fur le cable. Ces deux cordages ainfi accolés, doivent être enfemble amarrés avec des garcettes par enveloppement en hélice, dont les tours feront efpacés d'un pied, & plus ou moins près fuivant l'exigence des cas, depuis l'écoutille de la foffe aux cables, jufques vers l'écubier.

Pour la facilité de cette manœuvre, le cable doit être élevé d'un pied fur le pont, & pour cela foutenu par un rouleau monté fur deux couffinets près de l'écubier, & par un autre rouleau près de l'écoutille; celui-ci n'eft pas abfolument neceffaire. L'un & l'autre rouleau fervent encore à diminuer la réfiftance du frottement de la preffion, que fait le cable à l'écubier & à l'écoutille.

Les garcettes pour cet amarrage auront un pouce & demi de large, fur environ quinze toifes de longueur, &

à leurs extrémités une boutonniére terminée par un bouton en olive. Chaque garcette doit être pliée en ſpirale, ſe recouvrant à $\frac{1}{4}$ de pouce dans tous ſes tours, & par trois couches ſur une mince planchette de bois quarré ſur huit pouces; ce qui fait autant de pelottons que de garcettes.

Toutes choſes ainſi préparées, un Matelot étant aſſis ſur le pont près de l'écubier, au-devant des deux cordages, ayant les jambes paſſées deſſous, & auprès de lui pluſieurs de ces pelottons de garcettes, continuera l'amarrage par entortillement de cette ſorte; (il eſt dit qu'il continuera, parce que l'amarrage doit être fait depuis l'écoutille juſques vers l'écubier, quand on commence à virer au Cabeſtan;) ce Matelot prend de la main gauche le pelotton, qui a juſques-là amarré les deux cordages, le fait paſſer par-deſſus, & le place vis-à-vis ſur une planche inclinée de ſon côté, ſur laquelle le plotton gliſſe, & vient ſe retrouver ſous ſa main. Auſſi-tôt de la même main, il ſaiſit la garcette par-deſſous les cordages, la tire fortement ſur lui pour ſerrer le tour qu'il vient d'en faire; & pour le maintenir ſerré, il fait paſſer la garcette dans la main droite. Enſuite pour un autre tour, de la main gauche il ſaiſit de nouveau le pelotton, le fait paſſer par-deſſus les deux cordages, l'abandonne ſur la planche inclinée qui le conduit ſous ſa main; il reprend par-deſſous le cable, la garcette qui s'eſt développée en gliſſant ſur la planche inclinée d'autant qu'il eſt neceſſaire pour fournir à l'enveloppement: après l'avoir tirée avec force, il l'a remet à la main droite qui doit en conſerver toute la tenſion. Il repéte cette action autant de fois qu'il s'écoule au-devant de lui une longueur d'un pied du cable, ou plus d'un pied ſuivant la maniére d'amarrer, & autant de tems que doit durer l'amarrage pour amener l'ancre.

Quand une garcette finit, on l'aſſemble promptement à une autre garcette, ce que l'on fait en paſſant le bouton à olive de l'une dans la boutonniére de l'autre; & ſi l'on veut fortifier cet aſſemblage, on paſſe réciproquement le bouton de celle-ci, dans la boutonniére de celle-là. Si l'on ne veut

point assembler les garcettes, l'on peut en croiser les premiers & les derniers tours pour les arrêter sur les cordages. Veut-on donner plus de force à l'amarrage, il faudra tenir les tours de garcettes plus approchés, & pour moins de force les tenir plus éloignés. Voici une autre maniére d'amarrer. Après avoir fait deux tours contigus de garcette, l'on passeroit auprès entre le cable & la tournevire une calle ou coin de bois, qui feroit relever ce dernier cordage, & par ce moyen empêcheroit les garcettes de glisser dessus; ensuite par un seul tour on conduiroit la garcette à trois pieds de distance, où l'on feroit de même deux autres tours contigus, accompagnés d'une calle entre la tournevire & le cable, & ainsi de suite. Voilà tout ce qu'il faut observer pour cet amarrage.

Pour demarrer les deux cordages couplés, un autre Matelot est placé près de l'écoutille de la fosse aux cables dans la même situation que le premier. Il développe sans peine les garcettes par une action contraire à celle du premier Matelot, & à mesure que leur développement se fait de dessus les deux cordages, il les plie sur les planchettes destinées à chaque garcette, dont il fait autant de pelottons; cela est trop clair pour demander une plus ample explication. Dès que ce Matelot a fait trois pelottons, il doit les envoyer au Matelot qui fait l'amarrage, dans un panier ou dans un étrier qu'il suspendra par un crochet sur le retour de la tournevire; celui-ci lui enverra des planchettes par le même panier ou étrier, en l'accrochant à l'amarrage.

Huit garcettes de 90 pieds, seront suffisantes pour faire commodément un amarrage successif de 30 à 36 pieds de longueur; sçavoir trois auprès du Matelot qui amarre, deux formant l'amarrage, & trois prêtes à être renvoyées par le Matelot qui démarre. Cette quantité de huit garcettes, de même que l'étendue de cet amarrage, ne doit être que pour les plus grands vaisseaux; car dans les petits un amarrage d'environ 12 pieds avec trois garcettes de service, opéreront le même effet.

Il n'y a pas de doute que la manœuvre de cet amarrage ne paroiſſe d'une ſimplicité & d'une épargne d'hommes qui ne peut être ſurpaſſée ; puiſque deux Matelots peuvent commodément & ſans peine, manœuvrer autant que cinq, autant que douze, & autant qu'un plus grand nombre, ſi l'amarrage l'exigeoit, ſans occuper d'autre place que celle de leur poſition. Par-là toute l'étendue du lieu deſtiné à la manœuvre de cet amarrage, devient libre pour tout autre uſage, puiſqu'il ne faut reſerver qu'un canal ou courſier pour la conduite de ces cordages ; ce qui ne doit pas être indifférent dans les vaiſſeaux où les places ſont ſi précieuſes : & cette manœuvre rend en même-tems celle du Cabeſtan plus facile par la ſuppreſſion des nœuds de la tournevire. Mais pour mieux conſtater la perfection de cette manœuvre, il faut démontrer par les expériences que j'ai faites, que la ſolidité s'y trouve toute entiére.

Expériences.

Pour faire ces expériences l'on s'eſt ſervi de deux cordes ſans nœuds, l'une de 15 lignes de diamétre, & l'autre de 6 lignes ; d'une garcette large de 4 lignes, dont la tiſſure étoit une treſſe de quatre fils de vieilles cordes.

La groſſe corde a été attachée pendante à un ſommier, & par quatre amarrages ſucceſſifs & différens, la petite corde a été amarrée à la groſſe avec la garcette par entortillement en hélice. Le premier amarrage a été fait d'un tour de garcette, le ſecond de deux ; le troiſiéme de trois tours, & le dernier de quatre ; tous ces tours étant eſpacés d'un pouce. L'extrémité de la garcette étoit retenue ſur la groſſe corde avant que de faire aucun de ſes enveloppemens, & on l'y arrêtoit pareillement après que l'amarrage étoit fait. A la petite corde ainſi amarrée étoit ſuſpendu un baſſin de balance, que l'on chargeoit de petits poids, juſqu'à ce que ce baſſin par ſa péſanteur démarrât la petite corde qu'il entraînoit dans ſa chûte. Le baſſin étoit enſuite peſé con-

jointement avec les poids qu'il contenoit ; ces quatre amarrages ont été rompus par les pesanteurs suivantes.

L'amarrage d'un tour de garcettes par	28 livres.
Celui de deux tours par	70 livres.
Celui de trois tours par	145 livres.
Et celui de quatre tours par	295 livres.

Ce qui présente vraisemblablement dans une suite de ces expériences une progression double de la résistance du premier amarrage, que l'on pourroit disposer sans répugnance dans l'ordre progressif des tours de garcettes de l'amarrage, en se réglant sur les trois derniéres expériences, ainsi qu'il suit.

1 tour	37 ½ livres de pésanteur.
2	75 livres.
3	150
4	300
5	600
6	1200
7	2400
8	4800
9	9600
10	19200
11	38400
12	76800.

Ce qui fait voir que si l'on avoit voulu pousser l'expérience jusqu'à un amarrage de douze tours de garcettes, & que les cordages eussent été assez forts, il auroit fallu pour le rompre un poid de 76800 livres, ce qui est une résistance bien supérieure aux plus grands efforts que les amarrages du cable & de la tournevire ayent à soutenir dans les plus grands vaisseaux, puisqu'ils n'y excédent pas 50000 livres.

Il s'ensuit de ces expériences que l'amarrage proposé du cable à la tournevire sans nœud avec une garcette de 18 lignes de large, seroit capable de résister à une force immense, si les cordages & les garcettes pouvoient la sou-

tenir ; d'autant plus qu'il ſe fait plus d'attouchemens dans ces cordages à cauſe de leurs plus grandes circonférences ; & auſſi parce que le gaudron dont ils ſont imbibés en tient les parties plus intimement unies. Quoique cette force du nouvel amarrage ſoit ſi exceſſive, il eſt à propos de le faire toujours par autant de tours de garcettes, & de la maniére qu'il a été expliqué ; afin que les garcettes qui partagent également ſur le nombre de leurs tours la plus grande partie de l'effort que l'amarrage doit ſoutenir, puiſſent toujours le faire ſans être énervées.

L'on peut ajouter que ces expériences & les conſéquences que l'on en tire ſont confirmées par la pratique de l'amarrage ordinaire.

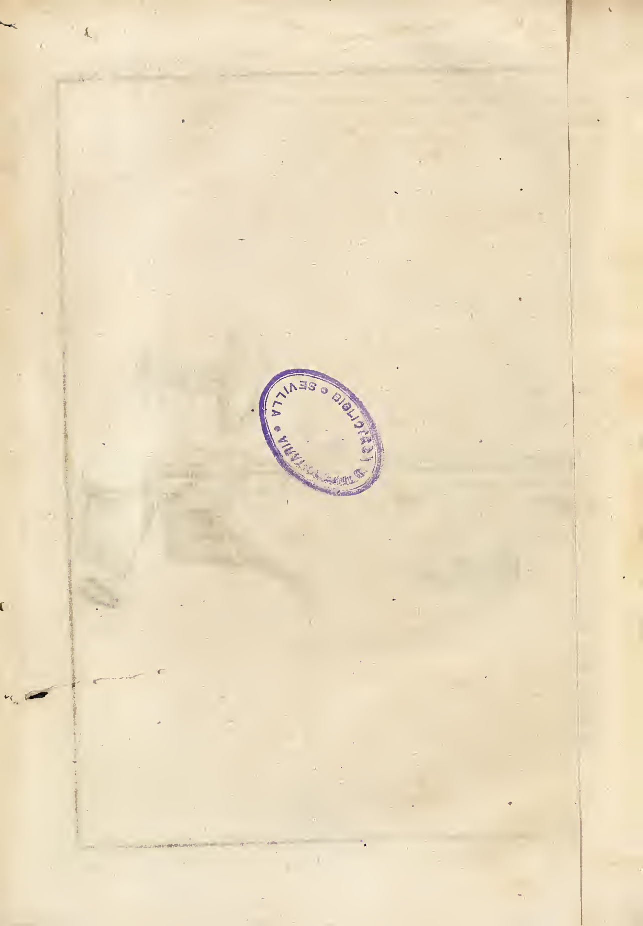
Obſervations pour le Cabeſtan à Ecrévices.

Il eſt à propos pour ne rien laiſſer à déſirer pour la perfection, & pour l'utilité du Cabeſtan à écrevices qui concourt au Prix de 1741. de donner les nouvelles obſervations de ſon Auteur, ſur ſa conſtruction & ſur ſon uſage.

Il eſt évident que rien ne pouvoit mieux convenir à l'uſage du Cabeſtan à écrevices que le nouvel amarrage, à cauſe de la ſuppreſſion des nœuds de la tournevire ; puiſque la parfaite exécution de cet inſtrument dépendoit de la régularité de ces nœuds à ſe loger exactement entre les pinces des écreviſſes ; & quoique cela n'eût pas été bien difficile, néanmoins c'étoit un aſſujettiſſement pour les y diſpoſer, qu'il eſt toujours utile de ſupprimer.

L'on a déja prévenu que les différentes mortaiſes dont ce Cabeſtan eſt percé pour loger les écrevices, pourroient faire craindre qu'il ne pût réſiſter aux efforts qu'il doit ſoutenir contre la traction de l'ancre, & que pour le garentir du danger de ſe rompre, il convenoit de le renforcer par un renflement de quelques pouces dans cette partie. Mais l'on s'eſt apperçu qu'il pourroit ſe paſſer de cette précaution, attendu que ce Cabeſtan ſe trouve ſuffiſamment renforcé




SEVILLA

par les doubles pinces de l'écrevice, qui entrent dans les mortaises dans lesquelles elles sont comme autant de coins poussés par la pression de la tournevire ; l'effort de ces espéces de coins dans les mortaises, se partage dans deux directions presque opposées, l'une tendante vers le pivot, & l'autre vers la tête du Cabestan, semblable en cela à une voute à clavaux, dont l'effort de la clef & de la charge sur cette clef, fait sentir latéralement l'effet de sa pression vers les naissances. De cette maniére le Cabestan ne sçauroit rompre puisqu'il ne pourroit pas plier, ni être séparé dans les directions opposées du pivot & de la tête ; parce que l'effort du coin par la pression du cordage, ne peut jamais avoir un effet si puissant.

Il étoit aussi nécessaire de garnir les raînûres des pinces d'écrevices par des doigts faits de petites cordes gauderonnées, & d'en couvrir pareillement les têtes d'écrevices, afin de ne point écorcher le cordage, & aussi pour pouvoir mieux le saisir & l'empêcher de riper. Mais l'on peut en user autrement, en se servant d'une étoffe large de 6 à 7 pouces faite exprés avec de petites cordes. La partie de la tournevire qui se trouve sur le Cabestan en seroit couverte sur les $\frac{2}{3}$ de sa circonférence, du côté où elle fait pression, & par où elle se trouve saisie par les pinces. Cette étoffe de 6 à 7 pieds de long auroit les deux bouts réunis ou épissés ; elle quitteroit la tournevire sur le retour, pour revenir couvrir les parties successives de la tournevire, qui se mettent sur le Cabestan, & qui s'engagent dans les pinces. L'on voit par-là que la pression des pinces & l'attachement de la tête de l'écrevice, se feroit immédiatement sur cette étoffe, sans pouvoir aucunement endommager la tournevire. Un Matelot assis sur le pont auprès du Cabestan, dirigeroit & maintiendroit l'étoffe sur la tournevire.

Par le moyen de semblables étoffes, mais ayant plus d'épaisseur, l'on pourroit mettre sur ce Cabestan de plus petits cordages que la tournevire, pour d'autres usages du vaisseau, sans être contraint à cause de ce moyen d'y subs-

tituer des pinces plus épaiſſes comme on l'avoit propoſé.

L'on a joint à ce Mémoire pour une plus grande intelligence de l'amarrage propoſé, un deſſein de cette manœuvre.

FIN.



PIECES

SUR LES

BOUSSOLES D'INCLINAISON,

ET SUR L'ATTRACTION

DE L'AIMAN,

la Direction, la Déclinaison & l'Inclinaison de l'Aiguille Aimantée.

Prix de 1743, 1744, *&* 1746.

PIECES
QUI ONT REMPORTÉ
LE PRIX
DE L'ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES,
EN M. DCC. XLIII. ET M. DCC. XLVI.

Sur la meilleure construction des Boussoles d'Inclinaison; & sur l'Attraction de l'Aiman avec le Fer.

Selon la fondation faite par feu M. ROUILLE' DE MESLAY, ancien Conseiller au Parlement.



A PARIS, rue Saint Jacques;

Chez G. MARTIN, J. B. COIGNARD, & les Freres GUERIN, Libraires.

M. DCC. XLVIII.

AVERTISSEMENT.

L'ACADEMIE Royale des Sciences proposa en 1741, pour sujet du Prix de 1743, la maniere de construire des Boussoles d'Inclinaison, pour faire avec le plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille aimantée, tant sur mer que sur terre ; ce qui suppose des Boussoles qui étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même inclinaison. Ce Prix a été adjugé à la Piece qui a pour devise :

Gloria sequi debet non appeti,
dont l'Auteur est M. DANIEL BERNOULLI, des Académies de Petersbourg, de Bologne, &c. & Professeur d'Anatomie & de Botanique en l'Université de Basle.

La Piece qui a paru le plus approcher, est celle dont la devise est :

Nil turpius est Physico quàm fieri sine causâ quicquam dicere,
qui est de M. EULER, Professeur de Mathé-

matiques à Péterſbourg, & de l'Académie des Sciences de la même ville.

Le ſujet du Prix propoſé pour 1742, étoit l'explication de l'Attraction de l'Aiman avec le fer, la direction de l'Aiguille aimantée vers le Nord, ſa déclinaiſon & ſon inclinaiſon. L'Académie n'ayant trouvé aucune Piece parmi celles qui lui furent envoyées qui lui parût mériter le Prix, en rémit la diſtribution d'abord en 1744, & enſuite en 1746. Elle a crû devoir, en cette derniere année, partager le Prix que ces délais avoient rendu triple, entre trois Pieces qui lui ont paru y avoir un droit égal.

La premiere, eſt celle dont la deviſe eſt:
Quærendi defatigatio turpis eſt cùm id quod quæritur ſit pulcherrimum.
Elle eſt de M. EULER.

La deviſe de la ſeconde eſt :
.... *Fluere à lapide hoc per multa neceſſe eſt Semina.*
L'Auteur eſt M. DU TOUR., Ecuyer, Correſpondant de l'Acad. Royale des Sciences.

La troiſiéme qui a pour deviſe :
In ſententia permaneto etenim niſi alia vicerit melior,
Eſt de M^rs^. DANIEL & JEAN BERNOULLI.



CATALOGUE

Des Ouvrages contenus dans ce Recueil.

PIECES de 1743.

PIECES de 1744.-1746.





MÉMOIRE

MEMOIRE
SUR LA MANIERE DE CONSTRUIRE
LES
BOUSSOLES D'INCLINAISON;

Pour faire, avec le plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille Aimantée, tant sur Mer que sur Terre; ce qui suppose des Boussoles, qui, étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même Inclinaison.

Pour concourir au Prix de l'année 1743.

Gloria sequi debet, non appeti.

Par Mr. DANIEL BERNOULLI, des Académies de Petersbourg, de Bologne, &c. & Professeur d'Anatomie & de Botanique en l'Université de Bâle.



MEMOIRE

SUR LA MANIERE DE CONSTRUIRE LES BOUSSOLES D'INCLINAISON,

Pour faire, avec le plus de précision qu'il est possible, les Observations de l'Inclinaison de l'Aiguille Aimantée, tant sur Mer que sur Terre ce ; qui suppose des Boussoles, qui, étant mises dans un même lieu, donneront sensiblement la même Inclinaison.

Gloria sequi debet, non appeti.

§. I. IL s'agit ici d'une question qui paroît d'abord extrêmement facile : mais cette premiere apparence de facilité se dissipe aussi-tôt qu'on y réfléchit plus sérieusement, & les difficultés s'augmentent à mesure qu'on s'y applique. Enfin, après avoir découvert toutes les difficultés, on se rapproche, par de

nouveaux efforts; & s'il n'eſt pas poſſible d'atteindre au dernier degré de perfection, du moins pourra-t-on, ſi je ne me trompe, s'en approcher de fort près; & je me flatte qu'on ſera convaincu par ma méthode, qu'il n'eſt guères poſſible d'aller plus loin que je marquerai. Il me ſemble qu'une telle méthode, demande qu'on faſſe une parfaite énumération de tous les obſtacles qui peuvent ſe rencontrer dans l'exécution d'une Machine; qu'on en ſçache faire une juſte évaluation; qu'on connoiſſe tous les moyens poſſibles, ſoit de les éviter, ſoit de les diminuer, & enfin, qu'on ait une juſte eſtime, fondée ſur un grand nombre d'expériences, juſqu'où peut aller l'adreſſe & l'habileté des ouvriers dans la conſtruction des machines qu'on leur propoſe. C'eſt le plan que je me ſuis propoſé dans ce Mémoire.

§. 2. Dans les premieres expériences qu'on a faites ſur l'inclinaiſon de l'Aiguille aimantée, on les trouvoit fort inégales, quoique priſes ſous les mêmes circonſtances, à la même heure, & avec la même aiguille; on a reconnu auſſi-tôt que cette inégalité étoit uniquement cauſée par le frottement de l'axe ſur lequel l'aiguille devoit ſe tourner, pour ſe mettre dans l'équilibre: on a donc tâché de remédier à cet inconvénient, & on y a aſſez bien réüſſi. Dès-lors on n'a pas manqué de trouver à peu près la même inclinaiſon avec la même aiguille; mais c'eſt-là auſſi tout ce qu'on a pû encore faire. Qu'on faſſe pluſieurs différentes aiguilles, & qu'on les faſſe avec tout le ſoin imaginable, on trouvera autant de différentes inclinaiſons qu'on aura d'aiguilles; ces différences ſeront tantôt plus, tantôt moins grandes; c'eſt le hazard qui en décide: on trouvera même ces inégalités dans les aiguilles faites d'un même acier, frottées contre le même Aiman & de la même façon; les aiguilles pourront être encore d'une longueur, épaiſſeur & figure tout-à-fait égales, ſans que le ſuccès en ſoit plus heureux. Ces inégalités d'inclinaiſon pourront aller juſqu'à 10 ou 12 degrés, témoin ce qu'en marque M. Pierre van

Muſchenbroek, un des plus habiles Obſervateurs de notre ſiécle. Je tâcherai d'en découvrir la cauſe, après quoi nous ſerons beaucoup plus à portée d'y remédier.

§. 3. Je poſe d'abord en fait, que s'il étoit poſſible de remédier entierement à tous les inconvéniens, toutes les Bouſſoles devroient marquer la même inclinaiſon à la même heure & dans un même lieu, tout comme elles montrent toutes la même déclinaiſon. Je crois que perſonne ne doutera de cette ſuppoſition, d'autant qu'il n'y a aucune expérience qui lui ſoit contraire. Sans cette hypothèſe, l'objet de nos recherches ſeroit une véritable chimere. Mais que faudra-t-il faire pour conſtruire ainſi les aiguilles? Il eſt aiſé de voir qu'on doit ſatisfaire à ces deux points :

1°. Que l'aiguille ſoit parfaitement mobile, de ſorte qu'elle tourne librement ſur ſon axe, ſans ſouffrir le moindre frottement.

2°. Que l'action de la peſanteur Magnétique (j'appelle ainſi la force qui agit ſur l'aiguille aimantée, & qui doit la tirer ou pouſſer dans ſa juſte inclinaiſon) agiſſe toute ſeule, ſans être altérée par aucune autre force, ſur-tout par celle de la peſanteur naturelle, qui eſt commune à tous les corps.

Voilà deux points qui méritent quelques réflexions préliminaires, & que j'ai cru devoir examiner avec toute l'exactitude poſſible.



I. *Nouvelles Reflexions ſur les Frottemens, qui me paroiſſent eſſentielles à notre ſujet.*

§. 4. TOUT corps qui gliſſe ſur une ſurface, ſouffre une réſiſtance, qu'on appelle Frottement. Si l'on tire du centre de gravité du corps une ligne verticale, on pourra conſidérer la force du frottement comme concentrée au point d'interſection de ladite verticale, avec la ſurface ſur laquelle ſe fait le mouvement. Le moindre mouvement fait exercer au frottement toute ſa force, & un parfait repos la lui fait perdre tout d'un coup; de ſorte que l'idée du frottement eſt inſéparablement attachée à celle du mouvement réel: on connoît aſſez la nature de ce frottement, & l'effet qu'il peut produire ſur le mouvement des corps, pour le retarder & l'arrêter.

§. 5. Il en eſt tout autrement des corps ſphériques ou cylindriques, qui gliſſent & roulent en même-tems: j'ai remarqué qu'il faut ici conſiderer néceſſairement deux ſortes de frottemens, qui agiſſent tout différemment; ce n'eſt qu'en conſidérant ce double frottement, qu'on peut déterminer, par exemple, le mouvement d'une bille ſur un Billard, & expliquer pluſieurs phénoménes fort ſinguliers, qui paroiſſent d'abord contraires à tout ce que la Méchanique a de mieux démontré & de plus conſtant.

§. 6. Pour connoître les deux différentes eſpéces de frottemens, dont je viens de parler, conſidérons le cercle $ABCD$ (*Fig. 1.*) ſur un plan horiſontal MN. Si ce cercle a d'abord un ſimple mouvement parallele & progreſſif de A vers N, il faudra ſuppoſer au point A une puiſſance dans la direction AM, qui faſſe le même effet que le frottement: mais il eſt clair que cette puiſſance fera rouler peu à peu le cercle dans le ſens $ABCD$; le centre d'effort de cette puiſſance, n'eſt point au centre du cercle E, ni

au centre de gravité, si le cercle n'étoit pas homogène, mais au point F, qui seroit le centre d'oscillation, en supposant le cercle mobile autour du point A, c'est-à-dire que chaque point entre A & F, souffre une impression du côté AM, & que chaque point entre F & C éprouve une impression contraire, & que le seul point F ne sent aucune impression. C'est ici une nouvelle propriété de très-grande utilité, & presque uniquement nécessaire pour déterminer le mouvement des corps qui n'ont aucun point d'appui, & dont les parties souffrent des impressions inégales : j'en omets cependant la démonstration, parce qu'elle n'appartient pas assez à notre sujet.

§. 7. Le frottement que nous avons consideré devoir faire le même effet qu'une puissance appliquée au point A, suivant la direction AM, n'est pas le seul qui s'oppose & qui change le mouvement du cercle. Pour s'en assurer, on n'a qu'à combiner toutes les causes qui peuvent produire le frottement. Il est facile d'en concevoir plusieurs d'une nature fort différente : entre autres on peut concevoir sur les surfaces pelues & villeuses de petits filamens à plier, & sur les surfaces dures & polies, de petites éminences pointues, qui prêtent, ou se courbent, ou qui sont comprimées ; ce sont là tout autant de petits ressorts que le corps doit bander en passant par-dessus, & qui, après avoir été bandés, ne se remettent jamais entierement dans leur premier état. Je représente dans la Figure un de ces ressorts par mn : on peut ensuite considerer mn comme perpendiculaire à la surface AN, ou comme oblique. Dans le premier cas, il tend à faire tourner le cercle autour du point A dans la direction $ADBC$; & dans le second, outre cet effet, il poussera encore le point A vers M ; & augmentera par-là le frottement expliqué dans l'article précédent, qui est le seul qu'on a accoutumé de considerer. Je dis que par cette raison, le premier frottement qui agit sur le point A dans la direction AM est augmenté, parce qu'il provient en même tems de plusieurs autres causes, qui sont le

plus ſouvent de beaucoup plus grande conſéquence. De-là il eſt évident, qu'il faut conſiderer deux ſortes de frottemens, ou à leur place, deux puiſſances, dont l'une appliquée au point *A*, le tire ou pouſſe vers *M*, & l'autre tend à tourner le cercle autour du point *A* dans le ſens *A D B C*. J'appellerai le premier frottement *parallele*, & le ſecond *perpendiculaire*. Sans le ſecours de ce double frottement, il eſt impoſſible d'expliquer la nature du mouvement des corps roulans; & par ſon moyen, on peut rendre raiſon de tout ce que l'expérience nous fait remarquer ſur ce mouvement.

§. 8. Le frottement perpendiculaire expliqué dans le précédent article, tendant à tourner le cercle autour du point *A*, il eſt clair que pour lui ſubſtituer une puiſſance équivalente, il faut la placer tellement que ſon centre d'effort ſoit préciſément au point *A*; c'eſt-à-dire, que le point *A* n'en ſouffre aucune impreſſion. Il faut donc, en vertu du théorême indiqué au ſixiéme paragraphe, que le point auquel cette puiſſance doit être appliquée, ſoit tel que ſi le cercle étoit ſuſpendu dans ce point, le centre d'oſcillation tombe au point *A*. Donc ce point cherché eſt préciſément au point *F* déterminé au ſixiéme paragraphe, (car ſi le point *F* eſt le centre d'oſcillation pour le point de ſuſpenſion *A*, celui-ci eſt réciproquement le centre d'oſcillation pour le point de ſuſpenſion *F*, propriété que M. Huygens a démontrée le premier) & cette puiſſance appliquée au point *F*, doit être cenſée tirer ou pouſſer dans le plan du cercle, & parallélement à la ſurface ſur laquelle il roule & gliſſe.

§. 9. Il ſuit de ces idées, que pour déterminer le mouvement variable du cercle, il faut conſiderer conſtamment au lieu du frottement parallele, une puiſſance en *A*, repréſentée par *A G*, & à la place du frottement perpendiculaire, une puiſſance en *F*, repréſentée par *F H*; & que ces deux puiſſances produiront les mêmes variations dans le mouvement du cercle que fait ce double frottement. Les

deux

deux dites puiſſances peuvent devenir négatives l'une par rapport à l'autre, de même que les deux mouvemens. Nous voyons, par exemple, qu'une bille preſſée avec le doigt contre le Billard, après s'être échappée, avance d'abord, & puis recule; mais ce paſſage de l'affirmatif au négatif, ſe fait bien différemment dans les deux cas; le mouvement paſſe par tous les degrés intermédiaires poſſibles, au lieu que le frottement conſerve toujours une certaine grandeur, & puis paſſe tout d'un coup de l'affirmatif au négatif par ſaut, de ſorte qu'on ne ſçauroit employer le principe de continuité, & qu'il faut néceſſairement diviſer le Problême en autant de parties qu'il ſe fait de changemens.

§. 10. Quelque dures & polies qu'on faſſe les ſurfaces du corps, & du plan qui le ſoutient, & quelque autres meſures qu'on prenne pour diminuer le frottement parallele, il reſtera toujours fort conſidérable, & aſſez pour amortir preſque entierement l'action de la peſanteur Magnétique dans les aiguilles aimantées. Le calcul fondé ſur des expériences très-avérées, le démontre aſſez: mais s'il n'eſt pas poſſible de le diminuer aſſez, on peut l'ôter entierement; car un corps qui roule parfaitement ſans gliſſer, change de place ſans ſouffrir le moindre frottement parallele. Ce roulement parfait d'un Cylindre ſur un plan, demande que chaque point de la circonférence décrive une portion de cycloïde, ni allongée ni racourcie; dès-lors le frottement parallele, repréſenté par la puiſſance AG, s'évanouit entierement, parce que ce frottement n'exiſte qu'avec le mouvement, & que dans ce cas, le point A reſte toujours dans un repos parfait. Il ne reſte plus alors que le frottement perpendiculaire.

§. 11. Cette conſidération ſeule nous fait voir combien il eſt néceſſaire de ne point négliger cette ſeconde ſorte de frottement, puiſque ſans elle, un corps roulant ſur un plan horiſontal, devroit conſerver toute ſa vîteſſe, ou du moins n'en rien perdre ſenſiblement; car la réſiſtance de l'air n'eſt ici preſque d'aucune importance, & n'enleve

jamais aux corps leur vîteſſe entiere, s'il eſt vrai que la réſiſtance des fluides, tels que l'air, ſuit la proportion des quarrés des vîteſſes. Mettez auſſi un globe ſur un plan horiſontal, puis inclinez ce plan peu à peu, & vous verrez que le globe ne roulera pas d'abord en bas, & qu'on pourra ſouvent incliner le plan de pluſieurs degrés, avant que le globe commence à rouler: ce n'eſt cependant pas ici la puiſſance *A G* qui empêche le globe de rouler auſſi-tôt que le plan n'eſt plus parfaitement horiſontal, ce n'eſt que l'autre puiſſance *F H* qui produit cet effet.

§. 12. Le frottement perpendiculaire eſt donc très-réel, & il ſubſiſte même dans les corps roulans; mais il eſt en même tems d'une nature à pouvoir être rendu preſque inſenſible, ce que pluſieurs expériences confirment; car on ne ſçauroit l'attribuer qu'aux petits brins, filamens ou éminences, leſquels ſont pliés, courbés ou tendus comme autant de petits reſſorts. Mais toutes ces cauſes ne peuvent guères avoir lieu, lorſque les ſurfaces ſont bien polies, & les corps bien durs, parce que de cette maniere on ôte tous les obſtacles, & que l'attouchement ne ſe fait que comme dans un point mathématique; auſſi ne voit-on pas alors que par des roulemens continuels les ſurfaces s'uſent le moins du monde, pendant que tout autre mouvement les change conſidérablement.

§. 13. Ce que la raiſon nous dicte à cet égard, toutes les expériences le confirment. Mettez un globe d'acier bien poli ſur une glace de miroir, vous aurez beaucoup de peine à mettre la glace aſſez horiſontalement, pour que le globe s'y arrête ſans rouler, pendant qu'un autre corps qui ne ſçauroit deſcendre qu'en gliſſant, ne deſcendra qu'après avoir beaucoup incliné la glace; par où l'on connoît que le frottement parallele fait toujours une partie conſidérable du poids entier du corps. Une verge ſoutenue par un Cylindre d'acier, dont les deux extrémités portent ſur deux tablettes horiſontales, continue ſes balancemens pluſieurs heures de ſuite; & les diminutions peu ſenſibles dans les

balancemens, doivent être attribuées ici plûtôt à la résistance de l'air, qu'au frottement du Cylindre, qui roule sur les tablettes, alternativement d'un côté & d'autre.

§. 14. Moyennant donc ces précautions & quelques autres, on pourra diminuer le frottement qui reste aux corps roulans, jusqu'à le rendre presque insensible; & j'ai remarqué que toutes les machines faites & décrites par le célèbre M. Graham, sont fondées sur ces principes, lorsqu'il s'agissoit d'éviter scrupuleusement les moindres frottemens. J'avoue cependant qu'il en reste toujours quelque peu: nous verrons dans l'application de ces principes, de quelle conséquence il peut être, & s'il vaut la peine d'y faire attention.

II. *Réflexions sur la maniere d'empêcher la Pesanteur naturelle d'altérer la Pesanteur Magnétique.*

§. 15. ON sçait que lorsque chaque point d'un corps est tiré avec une force égale sous des directions paralleles, on peut déterminer une ligne, dans la direction de laquelle une puissance opposée & égale à la somme de toutes les puissances qui tirent les points intégrants du corps, retient tout le systême en équilibre. On sçait aussi qu'il y a dans cette ligne un point tel, qu'en tournant le corps autour de ce point en quel sens qu'on voudra, l'équilibre se conserve toujours. Ce point est appellé le centre de gravité; il n'existe pas à la vérité dans toutes les hypothèses qu'on peut former sur la pesanteur; mais on démontre dans la Méchanique, qu'il existe dans l'hypothèse ordinaire, & comment on en doit déterminer la position.

§. 16. On voit par-là d'abord deux manieres de détruire toute l'action de la pesanteur sur les corps, sans leur ôter la mobilité.

La premiere eſt de ne laiſſer aux corps qu'un mouvement autour de leur centre de gravité, qui demeure toujours dans ſa place.

La ſeconde conſiſte à laiſſer aux corps un tel mouvement que le centre de gravité, quoique mobile, ſoit cependant toujours dans la ligne verticale, qui paſſe par le point d'appui.

§. 17. La premiere étoit celle qui ſe préſentoit d'abord le plus naturellement à l'eſprit; mais comme elle eſt inſéparable du frottement parallele, ce qui eſt aſſez clair par ſoi-même, je ferai voir qu'elle ne ſçauroit être miſe en uſage avec tant ſoit peu de préciſion. La voie d'excluſion eſt la plus ſûre pour parvenir aux meilleures machines, qui doivent faire un certain effet qu'on ſe propoſe, & l'unique pour démontrer que l'on y eſt parvenu.

Ces ſortes d'examens doivent toujours être fondés ſur des expériences. J'en pourrois citer des miennes, tant ſur ce point, que ſur bien d'autres; mais comme nous ne manquons pas d'expériences faites avec toute l'exactitude poſſible, je les préférerai aux miennes, qu'on pourroit, avec raiſon, tenir pour ſuſpectes dans cette occaſion. Je me propoſe de chercher la force de la peſanteur Magnétique, pour pouvoir la comparer avec le frottement parallele, & pour en déduire enſuite, de combien ce frottement peut tout ſeul détourner l'aiguille aimantée de ſa juſte inclinaiſon.

§. 18. Il ne s'agit pas ici de déterminer exactement la peſanteur Magnétique dans les aiguilles aimantées: elle eſt très-différente dans toutes les aiguilles; il ſeroit même difficile de la connoître dans une ſeule aiguille donnée avec juſteſſe, ſi l'on ne s'y prend d'une nouvelle façon, parce qu'il y a un concours d'empêchemens, qu'on n'a pas aſſez penſé à prévenir. Mais je ne demande ici qu'une détermination qui puiſſe nous ſervir d'exemple, & qui ne ſoit pas tout-à-fait incongrue: voici donc quelques expériences qu'on peut conſiderer ici.

M. Whiſton ayant pris une aiguille aimantée de 4 pieds, dont le poids étoit de 4012 $\frac{3}{8}$ grains, & qui marquoit à Londres une inclinaiſon de 75° 10', a trouvé qu'on pouvoit la remettre dans ſa ſituation horiſontale avec le petit poids de 1 $\frac{1}{8}$ grains, mis à l'extrémité Méridionale de l'aiguille.

M. Muſchenbroeck s'étant ſervi d'une aiguille de 4 pieds, peſant 6105 grains, a trouvé qu'il falloit 1 $\frac{1}{2}$ grains pour rétablir l'équilibre horiſontal ſous les mêmes circonſtances que dans l'expérience de M. Whiſton. L'inclinaiſon de cette aiguille obſervée à Utrecht, étoit de 67°.

Ces deux expériences ſont aſſez conformes entre elles; la premiere marque, que pour détourner l'aiguille d'un angle de 75° 10' de ſa ſituation naturelle, il falloit $\frac{1}{3564}$ du poids de l'aiguille, en agiſſant ſur un levier de deux pieds: la ſeconde fait voir, que pour détourner l'aiguille de 67° de ſa poſition naturelle, il falloit $\frac{1}{4070}$ du poids de l'aiguille, agiſſant encore ſur un levier de deux pieds. La premiere donne la vertu Magnétique un peu plus grande, par rapport à la peſanteur naturelle, que la ſeconde : cependant ceux qui ſont au fait de ces ſortes d'expériences, admireront la conformité de ces deux expériences, & ne l'attribueront en partie qu'à un pur hazard. Je remarquerai ci-deſſous, une circonſtance qui nous fera voir que cette méthode doit naturellement donner la force de la peſanteur Magnétique plus petite qu'elle n'eſt : je me tiendrai donc plûtôt à l'expérience ſuivante, qui eſt certainement plus ſûre pour notre deſſein. Elle conſiſte à obſerver le tems d'un nombre donné d'oſcillations de l'aiguille, dans le plan du méridien Magnétique. La voici. M. Muſchenbroeck, ſe ſervant de la même aiguille que ci-deſſus, lui fit faire de petites oſcillations dans le plan du méridien Magnétique. Les premieres excurſions étoient de 10°, ſçavoir 5° de chaque côté de l'équilibre. Les oſcillations diminuoient peu à peu, à cauſe du frottement & de quelques autres obſtacles; mais à meſure qu'elles diminuoient,

elles s'accéléroient en même tems, & s'accéléroient beaucoup plus que les loix Méchaniques ne paroissent le demander. Les dix premieres vibrations se faisoient dans 212 secondes de tems, les dix suivantes dans 192 secondes ; & puis encore les dix suivantes, dans 174 secondes. *Voyez sa Diss. sur l'Aiman*, p. 196.

Je supposerai donc, comme cette expérience paroît l'exiger, que la plus petite oscillation se soit faite dans 17″. Si l'on cherche à présent quelle force accélératrice vers le pole Magnétique, il faut supposer à l'extrémité de l'aiguille, pour lui faire faire une oscillation fort petite dans 17″ de tems, on la trouvera de $4\frac{2}{3}$ grains, c'est-à-dire, que la force qui tire ou pousse l'aiguille perpendiculairement vers sa position d'équilibre, appliquée à l'extrémité de l'aiguille, doit être censée par-tout égale au poids de $4\frac{2}{3}$ grains, multiplié par le sinus de l'angle de l'éloignement de l'aiguille de sa position naturelle, & divisé par le sinus total. Je me tiendrai à ce dernier résultat; je supposerai même 5 grains au lieu de $4\frac{2}{3}$, pour mettre le systême que je veux rejetter, sur le pied le plus favorable.

§. 19. Supposons donc à présent qu'on veuille mettre en usage ladite aiguille de M. Muschenbroeck, en la rendant mobile autour d'une ligne qui passe par son centre de gravité ; je supposerai qu'on puisse éviter tous les inconvéniens, excepté celui du frottement parallele, qui est ici inévitable. Il est vrai que plus on diminue l'axe qui porte aiguille, plus on diminue l'effet du frottement, parce qu'il agit sur un plus petit levier, qui est le rayon dudit axe, ou des tourillons mobiles dans des viroles ; mais il faut que ces tourillons aient assez d'épaisseur pour soutenir le poids de l'aiguille. Nous ne donnerons à leur rayon qu'un quart de ligne; je crois que c'est tout ce qu'on pourra faire, puisqu'ils doivent soutenir un poids de plus de 6000 grains, sans se plier le moins du monde; nous supposerons encore que le frottement ne fasse que la dixiéme partie du poids de l'aiguille, il sera encore égal à $610\frac{1}{2}$ grains, & comme

il agit ſur un levier d'un quart de ligne, ſon effort ſera $= 152\frac{5}{8}$, & dès que cet effort ſera plus grand que celui de la vertu Magnétique, l'aiguille n'aura plus de jeu. Si l'on nomme x le ſinus de l'angle compris entre la direction de l'aiguille quelconque & ſa direction naturelle, & r le ſinus total; la force de la vertu Magnétique ſera par le precédent article, égale à 5 grains multipliés par $\frac{x}{r}$; & comme cette force agit ſur un levier de 2 pieds, ou de 288 lignes, l'effort de la vertu Magnétique ſera $= \frac{1440x}{r}$; faiſons cet effort égal à celui du frottement, nous aurons $\frac{1440x}{r} = 152\frac{5}{8}$, & par conſéquent $\frac{x}{r} = 0, 106$, qui répond à un angle de $6^{\circ}\ 6'$, d'où l'on voit qu'auſſi-tôt que l'aiguille ſe trouve n'être plus éloignée de ſa juſte poſition que de $6^{\circ}\ 6'$, elle n'aura plus de mouvement; elle pourra donc varier de $12^{\circ}\ 12'$. Cette grande variation dans des obſervations faites avec la même aiguille, au même endroit, à la même heure, enfin ſous les mêmes circonſtances, qui provient du ſeul frottement, ſans faire encore attention aux autres empêchemens, & cela ſur des poſitions les plus favorables qu'il ſoit permis de faire, tout cela doit ſans doute nous faire abandonner entierement cette premiere maniere de mettre en uſage les aiguilles d'inclinaiſon. Il ne nous reſte donc que la ſeconde, que j'ai expoſée au ſeiziéme paragraphe, & que je vais examiner.

§. 20. Cette ſeconde maniere d'empêcher la peſanteur naturelle d'altérer la peſanteur Magnétique, conſiſte à faire en ſorte que le centre de gravité de l'aiguille & le point d'appui ſoient toujours dans une même ligne verticale. On peut remplir cette condition, en accordant aux tourillons de l'aiguille un ſimple roulement : ſi l'aiguille devoit faire le moindre gliſſement pour ſe mettre dans ſa juſte poſition, nous tomberions toujours dans l'inconvénient du frottement parallele, que nous venons de démontrer être

beaucoup trop grand pour pouvoir nous assurer de l'inclinaison de l'aiguille à plusieurs degrés près.

§. 21. Il s'agit donc d'examiner de quelle façon on peut rouler un corps d'une surface courbe sur une autre surface, afin que le centre de gravité du corps & le point d'appui soient toujours dans une ligne verticale. On voit bien que quelque convexité qu'on donne au corps, on pourra toujours déterminer la courbure de la surface, qui doit soutenir le corps, telle qu'on satisfasse à ce problême; mais pour peu qu'on fasse attention à notre sujet, on voit aussi que la maniere la plus simple est la meilleure, & même la seule possible dans la pratique; c'est de faire rouler un Cylindre homogène sur un plan horisontal. Cette réflexion nous fait connoître, que tout le succès qu'on peut attendre de notre problême, dépend d'une aiguille affermie à deux tourillons arrondis, qui portent sur deux tablettes horisontales: par-là on pourra éviter tout le frottement parallele, comme je l'ai démontré au dixiéme paragraphe. Mais cette maniere est encore sujette à plusieurs inconvéniens; cependant comme elle est l'unique qui nous reste, (par les paragraphes 16 & 19.) nous sommes naturellement conduits à examiner ces inconvéniens l'un après l'autre, à les diminuer autant qu'il est possible, & à calculer l'effet qu'ils pourront encore produire, au cas qu'on ne puisse pas y remédier entierement.



Examen

Examen des Aiguilles aimantées portées par des Tourillons ſur des Tablettes horiſontales; de toutes les cauſes qui peuvent faire varier leur inclinaiſon, & des remédes qu'on peut apporter à ces cauſes.

§. 22. LA conſtruction de ces aiguilles demande que les tourillons ſoient exactement arrondis; que leur axe commun perpendiculaire à l'aiguille, paſſe exactement par ſon centre de gravité; que les deux tablettes qui ſoutiennent les tourillons ſoient dans un même plan, & que le plan ſoit parfaitement horiſontal. Ces conditions paroiſſent bien faciles à remplir, & elles le ſont en effet aſſez, pour rendre les erreurs inſenſibles; mais ces erreurs inſenſibles par elles-mêmes, & ſans conſéquence dans toute autre occaſion, ſont encore de grande importance dans notre ſujet, & capables de cauſer toutes les variations qu'on a remarquées juſqu'ici dans les obſervations de l'inclinaiſon faites avec différentes aiguilles. Cependant ſi ces petites erreurs peuvent cauſer de grandes variations dans les différentes aiguilles, elles n'en peuvent cauſer aucune ſur une même aiguille. Si donc les obſervations faites ſucceſſivement avec la même aiguille, ne s'accordent pas tout-à-fait, ce n'eſt abſolument que le frottement perpendiculaire qui en peut être la cauſe.

§. 23. Il faut donc d'abord éviter le plus ſcrupuleuſement qu'il eſt poſſible ce petit frottement: on peut le faire en poliſſant avec grand ſoin tant les tourillons que les tablettes, & en les durciſſant autant qu'on le peut faire. On a remarqué auſſi, qu'un corps roule plus librement ſur un autre, lorſqu'ils ſont d'une matiere différente; on pourra donc faire les tourillons d'acier, & les tablettes d'un morceau de glace. De cette maniere on pourra rendre ce frottement inſenſible, non-ſeulement en ſoi-même, mais

encore relativement aux obſervations de l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée ; car avec ces précautions, une même aiguille reprend à chaque fois à peu près la même poſition, après en avoir été détournée. Si elles s'éloignent l'une de l'autre, ce n'eſt ordinairement que de quelques minutes ; lorſqu'elles s'éloignent le plus de l'inclinaiſon moyenne, cela peut aller juſqu'à un degré. Voici ce qu'en dit M. Muſchenbroeck, dans ſa Diſſertation ſur l'Aiman, p. 192. & 193, en parlant de cette même aiguille que j'ai décrite au paragraphe 18. *Je l'ai*, dit-il, *ſouvent détournée de ſa poſition, pour voir ſi ſon inclinaiſon ſeroit toujours la même ; elle ſe remettoit à 67°, quelquefois pourtant à 66° & d'autres fois à 68°, ou bien à quelques minutes au-deſſous ou au-deſſus de 67°.* Mais je ſuis ſûr qu'on pourra diminuer beaucoup davantage ces petites erreurs. Nous voyons en effet, dans les Tranſactions Philoſophiques, N°. *389*, des obſervations faites par M. Graham, que perſonne n'a pû encore égaler dans la perfection des machines, par leſquelles on voit que les obſervations faites tout de ſuite, ne ſont jamais éloignées les unes des autres au-delà de 4 ou 5 minutes. On peut encore juger par une autre circonſtance, de la préférence que méritent ici les expériences de M. Graham, par-deſſus celles de M. Muſchenbroeck ; c'eſt que l'un & l'autre de ces illuſtres Auteurs, faiſant balancer dans le plan du méridien Magnétique une aiguille aimantée, en commençant par des excurſions de 10°, ces oſcillations étoient encore fort ſenſibles au bout d'une heure dans les expériences de M. Graham, & qu'elles ne l'étoient apparemment plus dans celles de M. Muſchenbroeck, après 30 ou 40 oſcillations, qui répondoient à *9* ou 12 minutes de tems, ce qu'on doit naturellement juger, de la façon qu'il en parle dans ſondit ouvrage, p. *196*. Cependant, l'aiguille dont ſe ſervoit M. Graham, étoit beaucoup plus legere que celle de M. Muſchenbroeck, & auroit par conſéquent dû finir ſes oſcillations beaucoup plus vîte. Ces expériences ſont voir qu'il ne dépend que de l'adreſſe de l'ouvrier,

qu'on puisse négliger sans peine les petites erreurs causées par le frottement. Je suis sûr même qu'on peut les rendre tout-à-fait imperceptibles, par de petits coups de doigt plus ou moins forts, selon que la machine entiere le permettra, tout comme on fait aux Barométres qui ont trop de frottement : on ne manquera jamais par-là de mettre l'aiguille dans son véritable point d'équilibre. Si M. Muschenbroeck avoit pris cette petite précaution, il auroit toujours remis l'aiguille à 67°, pendant qu'elle s'en éloignoit quelquefois, quoique rarement, d'un degré entier, mais jamais davantage. Au reste, notre remarque qui consiste à faire rouler les tourillons de l'aiguille sur des tablettes, au lieu de les faire tourner sur leur axe dans les viroles, a déja été faite & suivie par lesdits Messieurs Graham & Muschenbroeck; je n'ai eu que le plaisir de me rencontrer sur ce point avec ces deux Auteurs, que je n'avois pas encore consultés, lors de mes premieres réflexions sur cette matiere. Je me flatte que ceux qui auront lû avec attention tout ce que j'ai dit jusqu'ici, seront persuadés que la méthode que j'ai suivie dans ces recherches, a dû m'y conduire sans autre guide, & qu'avec cette méthode, je n'ai pû encore m'écarter du chemin qui doit conduire à la machine que je cherche.

§. 24. De cette maniere, on peut obtenir un parfait accord entre toutes les observations faites tout de suite avec la même aiguille. Mais il s'en faut bien que nous ayons remédié par-là à tous les inconvéniens; car ce point d'équilibre auquel chaque aiguille se fixera constamment, peut être faux. Il ne répondra pas toujours au pole Magnétique; il pourra s'en éloigner considérablement, plus ou moins, suivant la nature des petites erreurs, qu'il a été impossible jusqu'ici d'éviter dans la construction des Boussoles d'inclinaison; & c'est-là la raison pourquoi chaque Boussole montre ordinairement une inclinaison différente de celle des autres. Voyons donc à présent quelles sortes d'erreurs on pourra commettre dans la construction des Boussoles

d'inclinaiſon, dont les tourillons roulent ſur des tablettes ; puiſque nous avons vû que c'eſt la ſeule maniere d'en tirer parti qui nous reſte. Examinons en même tems quelles limites on doit ſuppoſer à ces erreurs, pour qu'elles puiſſent cauſer ces grandes variations, qu'on remarque encore dans les Bouſſoles d'inclinaiſon, malgré toutes les précautions qu'on aura priſes dans leur conſtruction ; nous verrons par-là ſi l'on peut eſpérer encore un parfait accord entre les Bouſſoles, ſans qu'on emploie de nouvelles maximes dans leur conſtruction, & s'il eſt poſſible d'éviter aſſez pour cet effet leſdites erreurs.

§. 25. Commençons cet examen par l'article qui eſt le plus eſſentiel : c'eſt que l'axe des tourillons paſſe exactement par le centre de gravité de l'aiguille. Si c'eſt ici le point le plus eſſentiel, il eſt fâcheux qu'il ſoit en même tems le plus difficile à atteindre ; les plus habiles ouvriers y échouent, ſelon leur propre aveu, & ils ont été réduits à ſe contenter d'y avoir mis toute l'attention imaginable. Il y a même une circonſtance qui rend cette condition impoſſible en elle-même, comme on verra ci-deſſous. Il eſt vrai que les erreurs que l'on ne pourra plus éviter, ſeront extrêmement petites ; mais elles ne laiſſeront pas de produire des effets fort ſenſibles : c'eſt ce que je vais montrer par l'exemple de l'aiguille de M. Muſchenbroeck, décrite au paragraphe 18, longue de 4 pieds, peſant 6105 grains, & la force Magnétique entiere de laquelle nous avons démontré vers la fin du même paragraphe, être égale à peu près au poids de 5 grains, mis à l'extrémité de l'aiguille.

Soit donc la petite diſtance du centre de gravité à l'axe des tourillons $= \alpha$; on voit que ſans l'action de la péſanteur Magnétique, l'aiguille devroit toujours ſe mettre dans une telle ſituation, que le centre de gravité réponde verticalement à la ligne d'appui : ſi alors la direction de l'aiguille étoit préciſément la même que la direction de la peſanteur Magnétique, il n'en rejailliroit aucune erreur ſur l'inclinaiſon de l'aiguille ; mais ſi la direction de l'aiguille

étoit dans cette ſituation éloignée de 90° de la direction de la peſanteur Magnétique, il faudroit alors, que pour que l'aiguille marquât la juſte inclinaiſon, elle tournât de 90°, & cela ne peut ſe faire ſans que le centre de gravité s'éloigne du plan vertical, qui paſſe par la ligne d'appui de toute la diſtance α: c'eſt en ce cas que la petite erreur en queſtion produira l'effet le plus conſidérable, en augmentant l'inclinaiſon dans nos pays, ſi le centre de gravité ſe trouve alors du côté Boreal de l'aiguille, & en la diminuant, ſi elle ſe trouve du côté oppoſé. Soit le ſinus de l'angle que la direction de l'aiguille fera avec la direction de la peſanteur Magnétique, ou avec l'axe Magnétique, $= x$, le ſinus total $= r$; nous aurons, en vertu du paragraphe 19, la force Magnétique $= \frac{5x}{r}$ qui agit ſur un levier de deux pieds, ou de 288 lignes, & qui eſt contrebalancée par la force du poids de l'aiguille de 6105 grains, qui agit ſur le levier α, que j'exprimerai auſſi en lignes; nous avons donc $\frac{5 \times 288 \times x}{r}$ $= 6105\,\alpha$; c'eſt-à-dire,

$$\alpha = \frac{288x}{1221r}.$$

Si je veux me ſervir de cette formule, pour voir de combien le centre de gravité devroit être éloigné de l'axe des tourillons, pour pouvoir détourner l'aiguille de 5° de la juſte inclinaiſon, il faudra mettre pour x le ſinus de 5°, c'eſt-à-dire, $\frac{x}{r} = 0,08715$, & on trouvera $\alpha = 0,0205$, qui fait environ la $\frac{1}{49}$ partie d'une ligne. Si donc une ſi petite erreur peut paſſer pour inévitable, quelque ſoin qu'on y prenne, il ſera vrai que l'aiguille pourra manquer de 5° dans l'inclinaiſon qu'elle montre; & comme cette erreur peut arriver au-deſſous ou au-deſſus de la juſte inclinaiſon, on voit que différentes aiguilles d'inclinaiſon peuvent varier de dix degrés, tant qu'on ne pourra pas s'aſſurer au-delà de la quarante-neuviéme partie d'une ligne de la place de ſon centre de gravité. Je

ferai voir dans la suite, qu'une si petite erreur est tout-à-fait inévitable dans la construction des meilleures Boussoles d'inclinaison qu'on se soit encore avisé de faire, à cause que dans les simples aiguilles le centre de gravité varie, par rapport aux différentes inclinaisons de l'aiguille. Mais avant que d'examiner ce point, je ferai voir quelle est la meilleure maniere d'équilibrer exactement les aiguilles.

§. 26. Pour équilibrer une aiguille le plus exactement qu'il est possible, il sera bon d'y ajouter au milieu deux languettes de cuivre, perpendiculairement à l'aiguille, l'une au-dessous & l'autre au-dessus. Le plan qui passe par les extrémités de l'aiguille & par celles des deux languettes, doit être perpendiculaire à l'axe des tourillons; il faut aussi faire en sorte qu'après avoir aiguisé en pointes les quatre bouts, les deux lignes tirées de part & d'autre par les bouts opposés, se coupent exactement dans l'axe des tourillons. On tâchera d'équilibrer le systême, sans toucher d'abord aux extrémités de l'aiguille & des languettes, & quand on l'aura fait, autant qu'il est possible, on placera l'aiguille horisontalement, & en limant ses pointes, on la mettra dans un équilibre horisontal parfait, ce qui n'est aucunement difficile: après quoi on tournera l'aiguille dans sa situation verticale, & on limera les pointes des deux languettes, jusqu'à ce que l'on soit parvenu parfaitement à l'équilibre vertical, ce qu'on exécutera encore sans peine; & de cette maniere, l'aiguille sera exactement équilibrée pour toute autre situation. La raison de cette construction est manifeste; c'est que si l'axe de l'aiguille est perpendiculaire à celui des deux languettes, & que ces deux axes se coupent exactement dans l'axe des tourillons, la seconde correction n'a point d'influence sur la premiere. Cette petite précaution donnera l'équilibre entier avec toute l'exactitude possible, qui même seroit presque suffisante à cet égard, pour l'entiere perfection des Boussoles d'inclinaison, si seulement le centre de gravité étoit fixe dans toutes les situations de l'aiguille; mais il ne l'est pas; en voici

la raiſon; c'eſt que l'aiguille ſe plie par ſon propre poids, & ſe plie inégalement dans ſes différentes ſituations, plus ou moins, ſelon que ſa poſition eſt plus ou moins horiſontale. Cet article demande quelque détail.

§. 27. Suppoſez d'abord l'aiguille dreſſée verticalement, & que dans cette poſition le centre de gravité ſoit parfaitement dans l'axe des tourillons : mettez enſuite l'aiguille horiſontalement ; elle ſe pliera par ſon propre poids ; mais comme elle ſe pliera également des deux côtés, le centre de gravité répondra encore verticalement à la ligne d'appui, & quoiqu'il ſe trouve plus bas que dans la ſituation verticale, il ne ſçauroit empêcher l'aiguille de ſe tourner librement ſur ſes tourillons. Enfin, mettez l'aiguille obliquement, elle ſe courbera encore, quoique moins que dans ſa ſituation horiſontale ; & alors le centre de gravité ne répondra plus verticalement à la ligne d'appui, ce que la ſeule inſpection de la ſeconde figure fait aſſez voir : AgB marque l'aiguille droite, agb l'aiguille courbée ; $lmne$, eſt la ſection perpendiculaire des tourillons; leur axe répond au centre g, qui eſt auſſi le centre de gravité pour l'aiguille droite AgB: tirez la droite ab, & ſa perpendiculaire gf, & le centre de gravité de l'aiguille courbée, ſe trouvera dans cette petite perpendiculaire gf: ſuppoſons-le en c, tirez la verticale ge & l'horiſontale cd, & cette cd ſera la diſtance du centre de gravité au plan vertical qui paſſe par la ligne d'appui ; & j'ai démontré au vingt-cinquiéme paragraphe pour l'aiguille de M. Muſchenbroeck, qui nous ſert toujours d'exemple, que lorſque cette diſtance (que j'avois appellée α) ne fait que la quarante-neuviéme partie d'une ligne, elle peut cauſer une erreur de cinq degrés, & une variation de dix degrés dans les différentes aiguilles, ſi l'on n'étoit pas ſûr de quel côté ſe trouve le centre de gravité : c'eſt ici une circonſtance bien fâcheuſe, & qui paroît preſque n'admettre aucun reméde ; je ferai pourtant voir qu'on y peut encore remédier. On m'accuſera peut-être de combattre un fantôme, & que cette ſource d'erreur

ne peut jamais être fenfible. Il eft effectivement arrivé, même aux plus grands hommes, d'affigner aux phénoménes des caufes, à la vérité très-réelles, mais qui ne font pas fuffifantes, & qui fouvent font infenfibles par rapport aux effets qu'ils en ont prétendu déduire; ils font tombés dans cette efpéce de paralogifme, pour n'avoir pas cherché la mefure des caufes qu'ils alléguoient, & des effets qu'elles pouvoient produire. Les calculs & les expériences que j'ai faites fur cette matiere, me juftifieront entierement; mais cela demande une digreffion que je prie le Lecteur de me pardonner; elle nous fournira des réflexions importantes fur notre fujet.

Digreffion qui fert à déterminer au jufte le Centre de Gravité d'une Lame courbée par fon propre poids.

§. 28. Il faut avant toutes chofes trouver la courbure d'une lame pliée par fon propre poids. Feu M. Jacques Bernoulli a été le premier à déterminer celle d'une lame courbée, par une puiffance appliquée à un feul point, en négligeant le poids de la lame. On voit que notre problême, pris dans un fens général, eft beaucoup plus difficile, à caufe que les poids des arcs qui plient la lame dans un point donné font variables, & que les efforts de ces poids dépendent même de la courbe qu'on cherche. Cependant il y a des folutions générales de ces problêmes dans les Mémoires de Peterfbourg, Tome II. p. 62. & les fuivantes, données par Meffieurs Daniel Bernoulli, & Léonard Euler. Dans notre cas, le problême devient extrêmement facile, & la courbe très-fimple, à caufe que les courbures font comme infiniment petites, ce qui abrége beaucoup les calculs & les raifonnemens.

§. 29. Soit une lame parfaitement droite & uniforme AB (*Fig. 3.*) foutenue au milieu g, & mife horifontalement; fuppofons

ſuppoſons que cette lame pliée par ſon propre poids, prenne la figure agb, dont les deux branches ga & gb ſeront égales; tirez la droite ab avec ſa perpendiculaire gf; ſoient p & q deux points infiniment proches dans la ligne ba, & qu'on mene les deux petites perpendiculaires ps, qr. On voit qu'on peut ſuppoſer ici $pq = sr$; & que, ſi on ſuppoſe $bp = x$, $ps = y$, $pq = dx$, que je ſuppoſerai conſtante, le rayon oſculateur au point r, peut être cenſé ici $= \frac{-dx^2}{2ddy}$: or ce rayon oſculateur eſt réciproquement proportionel à l'effort qu'exerce le poids de l'arc rb, pour fléchir la lame au point r; & ce poids pouvant être conſideré comme concentré dans le centre de gravité de l'arc br, il faudra partager en deux également la ligne bq au point t, élever la perpendiculaire tu, & puis cenſer tout le poids de l'arc br, être placé dans la verticale tu, de ſorte que ce poids agira ſur le levier ur ou $tq = \frac{1}{2}x$.

Soit à préſent la longueur de la lame $AB = 2l$, ſon poids total $= 2p$, on aura le poids de l'arc $br = \frac{x}{l}p$, lequel agiſſant ſur le levier tq, ou $\frac{1}{2}x$, ſon effort par rapport au point r, ſera $= \frac{xxp}{2l}$, & cet effort devant être réciproquement proportionel au rayon oſculateur $\frac{-dx^2}{2ddy}$, ou directement proportionel à la quantité $\frac{-2ddy}{dx^2}$, je fais

$$\frac{xxp}{2l} = \frac{-2m^3 ddy}{dx^2}.$$

La quantité m^3 eſt une conſtante qui dépend de l'élaſticité de la lame, & qui par conſéquent eſt la même dans toutes les lames d'une même élaſticité. Pour réduire cette équation, je lui donne cette forme, $pxxdx^2 = -4m^3 lddy$, qui étant intégrée, donne $\frac{1}{3}px^3dx = -4m^3 ldy + \frac{1}{3}pl^3dx$; j'ai ajouté la conſtante $\frac{1}{3}pl^3dx$, parce que dy doit devenir $= 0$, lorſque x devient $= l$, puiſqu'on voit que la tangente au point g doit être parallele à la ligne ab: ſi l'on prend

une feconde fois l'intégrale de notre équation, on aura $\frac{1}{12} p x^4 = -4 m^3 l y + \frac{1}{3} p l^3 x$, fans ajouter de conftante, puifque les variables x & y doivent s'évanouir en même tems au point b. Cette derniere équation donne enfin

$$y = \frac{4 p l^3 x - p x^4}{48 m^3 l}.$$

§. 30. On pourra remarquer dans cette équation, que quoique la branche $g a$ foit parfaitement égale à la branche $g b$, la courbe entiere $b g a$ n'eft pas exprimée par une même équation, parce que la loi de continuité eft interrompue au point d'appui g; auffi voit-on, par exemple, qu'en mettant $x = 2 l$, la valeur de y ne devient pas $= 0$, comme cela devroit arriver, fi la loi de continuité fubfiftoit au point g; fans cette remarque, on pourroit tenir notre folution pour fufpecte.

§. 31. La valeur générale de y donne $g f = \frac{p l^3}{16 m^3}$; on pourroit donc la déterminer au jufte, fi on connoiffoit la force de l'élafticité exprimée par m^3. Je ferai voir ci-deffous, comment on pourra, par une autre expérience, déterminer exactement l'élafticité de chaque lame, par où l'on pourra fixer au jufte la dépreffion ordinairement infenfible du point f au-deffous du point g; & de-là, je montrerai comment on pourra déterminer avec la derniere précifion le centre de gravité de la lame courbée $a g b$, & fa dépreffion au-deffous du point d'appui.

§. 32. On pourroit d'abord déterminer les petites diftances $g f$, en la mefurant réellement dans une lame beaucoup plus longue, & dans tout le refte uniforme avec la lame propofée : car l'expreffion générale de $g f$, donnée dans l'article précédent, nous montre que dans les lames qui ne différent qu'en longueur, les diftances $g f$ font proportionelles aux quantités $p l^3$, puifque la quantité m^3 demeure toujours la même : or la quantité p eft proportionelle à l; donc $g f$ fera proportionelle à l^4, c'eft-à-dire, que les abaiffemens $g f$ font en raifon biquarrée des

longueurs des lames, ce qui fait une très-belle propriété, & en même tems, bien utile pour notre ſujet. Cette propriété nous donne une maniere de connoître exactement les abaiſſemens inſenſibles gf, & nous enſeigne en même tems, de quelle importance il eſt de ne pas faire des aiguilles trop longues, tant qu'on veut ſe tenir à la conſtruction ordinaire des Bouſſoles. Suppoſons, par exemple, que dans une aiguille de 4 pieds, on ait trouvé par une meſure réelle gf être d'une ligne, cette même gf ne ſera plus que $\frac{1}{256}$ partie d'une ligne, en donnant à l'aiguille la longueur d'un pied. Voilà donc déja un moyen de connoître les inflexions inſenſibles des aiguilles. Mais comme cette maniere demande qu'on meſure d'abord ces inflexions dans une aiguille fort longue & toute pareille, quant aux autres circonſtances, j'ai tâché d'éviter ce détour, & d'obtenir en même tems des inflexions plus grandes & beaucoup plus faciles à meſurer exactement, deſquelles on puiſſe déduire pareillement les petites inflexions en queſtion. Voici donc une autre maniere que j'ai déja employée avec tout le ſuccès que je pouvois eſpérer, dans des problêmes de méchanique beaucoup plus embarraſſés; comme de connoître le nombre abſolu d'oſcillations des corps élaſtiques, les ſons qu'ils donnent lorſqu'on les frappe, &c. Ces problêmes demandent avant toute choſe, qu'on détermine au juſte l'élaſticité des corps ſonores, après quoi j'ai toujours pû prédire exactement les ſons différens qu'on peut en tirer en différentes manieres.

§. 33. Il faut affermir l'une des extrémités de l'aiguille dans ſa ſituation verticale, afin que ſon poids ne concoure point dans l'expérience à la plier. Soit donc AB (*Fig. 4.*) l'aiguille miſe verticalement, dont la partie AD eſt bien ſerrée & affermie; on attachera à l'autre extrémité le poids P par une ficelle, qui paſſe par-deſſus la poulie E, de ſorte que l'extrémité B ſoit tirée horiſontalement: ce poids P pliera la partie DB en Db, & on pourra augmenter le poids juſqu'à ce que la diſtance du point B au point b puiſſe

être meſurée avec beaucoup de préciſion ; après quoi la Méchanique enſeigne comment on doit en déduire l'élaſticité de l'aiguille que nous avons indiquée par la quantité m^3. Pour plus grande facilité du calcul, je conſidérerai la courbe $D\,b$ comme une ligne preſque droite, d'autant que la diſtance $B\,b$ pourra être d'un pouce, ou plus grande ſi l'on veut, ſans que la courbure $D\,b$ ſoit conſidérable ; ſi cette ſuppoſition pouvoit produire la moindre erreur ſenſible, je l'aurois d'autant moins haſardée, que le problême général n'eſt aucunement difficile.

Comme je demande que l'aiguille $B\,A$ ſoit la même que celle qu'on veut employer pour la Bouſſole, je la ſuppoſerai $= 2\,l$, comme au paragraphe 29, & la partie $B\,D = \lambda$; le poids attaché en $B = P$; je me propoſe d'abord de déterminer la courbe $D\,b$; pour cet effet, je conſidere dans l'axe $B\,D$ deux points infiniment proches p & q avec les appliquées $p\,s$ & $q\,r$; j'appelle $B\,p$, x ; $p\,q = d\,x$, que je prends pour conſtante ; $p\,s = y$; le rayon oſculateur en r, peut encore être cenſé $= \frac{dx^2}{2ddy}$, & ce rayon oſculateur doit être réciproquement proportionel à l'effort qu'exerce le poids P pour plier l'aiguille au point r ; or on peut cenſer $b\,r$ être une ligne droite, & égale à $B\,q$; c'eſt-à-dire, que le poids P agit ſur le levier x ; ſon effort ſera donc $= x\,P$: il faut donc que $x\,P$ ſoit directement proportionel à $\frac{2ddy}{dx^2}$; c'eſt pourquoi je fais encore $x\,P = \frac{2\,m^3\,ddy}{d\,x^2}$, où m^3 marque la même quantité qu'au vingt-neuviéme paragraphe, parce que c'eſt la même aiguille, qui a la même élaſticité, de laquelle dépend uniquement la quantité m^3. Je change cette équation en celle-ci, $P\,x\,d\,x^2 = 2\,m^3\,d\,dy$, dont l'intégrale eſt $\frac{1}{2}\,P\,x\,x\,d\,x = 2\,m^3 dy + \frac{1}{2}\,P\,\lambda\,\lambda\,d\,x$; j'ai ajouté la conſtante $\frac{1}{2}\,P\,\lambda\lambda\,d\,x$, parce que x devenant $= B\,D = \lambda$, $d\,y$ doit s'évanouir ; l'intégrale de cette derniere équation eſt $\frac{1}{6}\,P\,x^3 = 2\,m^3\,y + \frac{1}{2}\,P\lambda\lambda\,x - \frac{1}{3}\,P\lambda^3$, où j'ai ajouté la conſtante $-\frac{1}{3}\,P\,\lambda^3$, parce que x étant $= \lambda$, y doit s'évanouir : cette équation donne enfin

$$y = \frac{Px^3 - 3P\lambda\lambda x + 2P\lambda^3}{12m^3}.$$

Or au point B, l'appliquée y peut être censée égale à la distance Bb; supposons donc $Bb = \beta$, & nous aurons $\beta = \frac{P\lambda^3}{6m^3}$, ou bien

$$m^3 = \frac{P\lambda^3}{6\beta}$$

& de cette maniere on pourra déterminer exactement la quantité m^3, ce que je m'étois proposé de faire.

§. 34. Après avoir trouvé par ladite expérience, la valeur de m^3, qui convient à l'aiguille en question; il faut substituer cette valeur dans les équations des paragraphes 29 & 30. De cette façon, nous trouvons pour la troisiéme figure ps ou $y = \frac{p}{P} \times \frac{4l^3x - x^4}{8l\lambda^3} \times \beta$, & par conséquent $gf = \frac{p}{P} \times \frac{3l^3}{8\lambda^3} \times \beta$.

§. 35. Pour connoître à présent par un exemple, jusqu'où peut aller l'inflexion d'une aiguille, j'ai pris une verge cylindrique de fer, dont le diamétre étoit un peu plus de 4 lignes, avec laquelle j'ai fait l'expérience décrite au paragraphe 33: toute la longueur AB (*Fig. 4.*) étoit de 28 pouces; la partie DB de 24 pouces; le poids P étoit 8 fois plus grand que celui de la verge AB, ou $9\frac{1}{3}$ de fois plus grand que celui de la partie DB, & je trouvois Bb de 20 lignes. Si nous appellons donc p le poids de la partie BD, nous aurons $P = 91\frac{1}{3}p$; BD ou $\lambda = 24$ pouces, ou 288 lignes, Bb ou $\beta = 20$ lignes. Par cette expérience, je me propose de déterminer exactement, combien une semblable verge, longue de 4 pieds, & soutenue au milieu dans son centre de gravité, devroit se courber. Nous aurons en ce cas dans la troisiéme figure $AB = 2l = 4$ pieds; $gB = l = 2$ pieds, & par conséquent $l = \lambda$; le poids de la partie gB sera encore $= p$, & $P = 9\frac{1}{3}p$, & nous aurons toujours $\beta = 20$ lignes. De-là nous tirerons $gf = \frac{1}{9\frac{1}{3}} \times \frac{3}{8} \times 20$ lign. $= \frac{45}{56}$ lignes ou environ $\frac{4}{5}$ lignes.

Si la verge n'avoit que deux pieds de longueur, nous aurions $fg = \frac{1}{20}$ de ligne, & elle ne feroit plus que de $\frac{1}{320}$ partie de ligne, dans une verge femblable de la longueur d'un pied.

Voilà donc une méthode de connoître exactement ces inflexions, le plus fouvent imperceptibles aux fens, mais fuffifantes cependant pour déranger les Bouffoles, & pour caufer des variations très-fenfibles.

On voit par-là quelle préférence mérite la théorie pardeffus la pratique, quoique néceffaires l'une & l'autre: comment fe feroit-on apperçu de tous ces inconvéniens, fans le fecours de la théorie; & comment peut-on obvier à des inconvéniens que l'on ignore?

Quant à l'aiguille de M. Mufchenbroeck, qui nous a fervi d'exemple jufqu'ici, fon inflexion doit avoir été à peu près la même que celle que nous avons trouvée pour la verge cylindrique longue de 4 pieds, dont le diamétre a été de 4 lignes. L'aiguille de M. Mufchenbroeck avoit la même longueur, mais elle avoit la forme d'un parallelepipéde; le côté parallele aux tourillons avoit 2 lignes, & l'autre côté 3 lignes: & il eft à remarquer que la largeur parallele aux tourillons, ne peut ni augmenter ni diminuer les inflexions; mais quant à l'autre côté perpendiculaire à l'axe des tourillons, il change beaucoup les inflexions; plus ce côté eft grand, moins l'aiguille fe courbera, & réciproquement: on pourroit donc fuppofer à cet égard la courbure avoir été plus grande dans l'aiguille de M. Mufchenbroeck, que n'a été celle de la verge cylindrique dont nous nous fommes fervis; mais comme dans la premiere, l'épaiffeur refte la même, pendant que dans les cylindres les épaiffeurs diminuent vers les côtés, cette raifon peut avoir redreffé l'autre, outre que l'aiguille de M. Mufchenbroeck étoit d'acier, pendant que la verge que j'ai employée n'étoit que de fer. Tout bien compté, je crois pouvoir fuppofer que dans ladite aiguille fg aura été d'environ $\frac{4}{5}$ de ligne. Si j'avois été à même de me faire faire

une aiguille toute pareille à celle de M. Muſchenbroeck, j'aurois pû dire au juſte la courbure que ſon poids lui a cauſée, en la ſuſpendant horiſontalement par le milieu.

§. 36. Connoiſſant la valeur de fg, & l'équation pour la courbe gb, (*Fig.* 3.) il eſt facile de trouver le centre de gravité des deux branches agb, que je ſuppoſe en c; on trouvera par les régles communes de la méchanique $gc = \frac{2}{5} fg$: or j'ai démontré dans le précédent article, que dans l'aiguille de M. Muſchenbroeck, longue de 4 pieds, fg a été probablement de $\frac{4}{5}$ de ligne; nous pouvons donc ſuppoſer pour la même aiguille $gc = \frac{8}{25}$ ligne.

§. 37. Conſidérons à préſent l'aiguille AB inclinée comme dans la ſeconde Figure: on voit que l'action de la peſanteur de chaque partie en ſera diminuée en raiſon des coſinus des angles, que l'aiguille fait avec l'horiſon; le ſeul principe de la réſolution des forces ſuffit pour le démontrer. Par ce principe, il eſt clair que l'action du poids de l'aiguille indiqué par $2p$, en tant qu'elle doit plier l'aiguille, diminue en raiſon des coſinus de l'angle d'inclinaiſon avec l'horiſon; or nous avons démontré au commencement du paragraphe 31, que tout le reſte étant égal, gf eſt proportionel à la quantité p, puiſque gf eſt $= \frac{pl^3}{16m^3}$, & que les quantités l & m reſtent les mêmes, de quelle maniere que l'aiguille ſoit inclinée; d'ailleurs gc eſt proportionel à gf, puiſque la premiere fait toujours $\frac{2}{5}$ de la ſeconde; (parag. 36.) donc gc eſt toujours proportionel aux coſinus des angles d'inclinaiſon de l'aiguille avec l'horiſon.

Soit donc le ſinus total $= r$; le ſinus de l'angle que l'aiguille fait avec l'horiſon $= c$, ſon coſinus d; nous aurons pour l'aiguille de M. Muſchenbroeck $gc = \frac{8}{25} \times \frac{d}{r}$ ligne & enfin la petite horiſontale cd terminée par la verticale ge ſera $= \frac{8}{25} \times \frac{c \times d}{rr}$ ligne. Cette cd, qui marque le levier ſur lequel le poids entier de l'aiguille agit, ſera donc la plus grande, lorſque l'aiguille eſt inclinée de 45 degrés;

elle ſera alors $= \frac{4}{25}$ ligne, qui n'eſt que trop grande pour détourner très-conſidérablement l'aiguille aimantée de ſa juſte inclinaiſon. Je finis ici cette digreſſion pour en faire l'application à notre ſujet.

§. 38. Nous venons de démontrer que par l'inflexion de l'aiguille cauſée par ſon propre poids, le centre de gravité change de place à meſure que l'aiguille change d'inclinaiſon; que non-ſeulement ce centre de gravité monte & deſcend, mais qu'il va encore de côté, & s'éloigne du plan vertical qui paſſe par la ligne d'appui, ou par l'axe des tourillons. Nous avons calculé juſqu'où pouvoient aller ces variations dans une aiguille telle qu'étoit celle de M. Muſchenbroeck, & nous avons trouvé que le centre de gravité peut varier dans ſa hauteur verticale de $\frac{8}{25}$ ligne, (paragraphe 36.) & qu'il peut s'éloigner du plan vertical qui paſſe par l'axe des tourillons, de $\frac{4}{25}$ ligne de côté & d'autre. Il ſuit même immédiatement du paragraphe 35, qu'en tournant l'aiguille, le centre de gravité fait un petit cercle dont le rayon ſeroit de $\frac{4}{25}$ ligne, & qu'il fait deux tours pendant que l'aiguille en fait un. Combinons cela avec ce que nous avons démontré au paragraphe 25, ſçavoir que lorſque le centre de gravité s'éloigne du plan vertical qui paſſe par l'axe des tourillons de $\frac{1}{49}$ ligne, il en peut réſulter une erreur de 5° dans l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée; & nous comprendrons aiſément, que c'eſt encore ici une des cauſes principales des grandes variations qu'on a remarquées dans les inclinaiſons de différentes aiguilles aimantées. Je trouve que ſi M. Muſchenbroeck avoit équilibré l'aiguille exactement pour ſa ſituation verticale, & que dans cette ſituation le centre de gravité eût été préciſément dans l'axe des tourillons, ſi l'on ſuppoſoit la juſte inclinaiſon de 70°, & la vertu Magnétique totale égale à 5 grains, mis à l'extrémité de l'aiguille, comme nous l'avons trouvée à peu près au dix-huitiéme paragraphe : je trouve dans ces ſuppoſitions, que l'aiguille devroit montrer une inclinaiſon d'environ 33 degrés, & par conſéquent

conféquent s'éloigner de la jufte inclinaifon de 37 dégrés.

Il eft vrai que M. Mufchenbroeck lui a trouvé une inclinaifon beaucoup plus jufte, fçavoir de 67°. la conféquence que j'en tire, eft que l'aiguille n'avoit pas été équilibrée dans fa fituation verticale. Eût-on pû prévoir fans ce détail, qu'un équilibrement parfait pour la fituation verticale de l'aiguille, pût caufer une fi grande erreur dans fon inclinaifon? la chofe eft cependant bien certaine. Je m'affure de plus, que M. Mufchenbroeck n'a été attentif qu'à bien équilibrer l'aiguille dans la fituation qu'elle devoit avoir à peu près dans fa jufte inclinaifon, c'eft-à-dire, lorfque l'aiguille faifoit avec l'horifon un angle d'environ 70°, & c'eft en quoi il a pris le plus fage parti; je m'en remets à la décifion de M. Mufchenbroeck, fi jamais ce Mémoire devoit tomber entre fes mains. Si je ne me trompe point dans ma conjecture, il eft certain qu'il a dû trouver avec affez de jufteffe la véritable inclinaifon: mais fi l'on tranfportoit cette aiguille dans un autre pays, où la vraie inclinaifon fût bien différente, cette même aiguille, fi jufte en Hollande, pourroit manquer de 10, 20 & même 30 degrés.

§. 39. Voilà donc un grand inconvénient, mais auquel on pourra encore remédier; je traiterai par degrés des précautions qu'on doit prendre, & ferai voir comment on en pourra d'abord diminuer les effets, jufqu'à les rendre infenfibles, & enfin les éviter entierement. Avant que de le faire, je démontrerai dans cet article, comment on doit concilier les expériences rapportées au dix-huitiéme paragraphe, qui paroiffent d'abord fe contredire. Il y a dans ledit article, deux expériences faites par le même Auteur, avec la même aiguille, qui paroiffent l'une & l'autre très-propres à déterminer exactement la force de la pefanteur Magnétique de l'aiguille. La premiere marque que le poids d'un grain & demi, mis à l'extrémité de l'aiguille aimantée, la remettoit dans fa fituation horifontale, depuis l'inclinaifon de 67° qu'elle avoit auparavant, d'où l'on peut conclure que la force totale eût été d'environ 1 $\frac{5}{8}$ grains;

car si la force de 1 $\frac{1}{2}$ grains peut détourner l'aiguille de 67° de son équilibre, la force de 1 $\frac{5}{8}$ grains pourra la détourner de 90°, & je l'appelle alors force totale. Dans la seconde expérience, on considere le nombre d'oscillations que l'aiguille fait dans un tems donné ; & j'ai fait voir que de cette expérience il résulte une force totale, qui est égale à l'action du poids de 4 $\frac{2}{3}$ grains, mis pareillement à l'extrémité de l'aiguille. Cette derniere force est presque trois fois plus grande que la premiere. D'où peut donc venir cette grande inégalité ? je l'attribue à l'inflexion de l'aiguille dans la premiere expérience ; cette inflexion jette le centre de gravité de côté, & concourt à remettre l'aiguille dans la situation horisontale, de sorte que cette action est encore à peu près double de celle du petit poids, duquel on chargeoit l'extrémité Méridionale de l'aiguille. Le calcul qui suit, éclaircira & confirmera davantage cette explication. Je suppose que l'inclinaison de 67° observée par M. Muschenbroeck, ait été la véritable; je suppose encore qu'il ait équilibré parfaitement l'aiguille sous un angle de 67°; car s'il l'avoit fait sous un angle bien différent, il auroit nécessairement fallu que l'aiguille se fût écartée beaucoup de sa juste inclinaison, comme nous l'avons démontré dans l'article précédent.

Pour mettre donc l'aiguille horisontalement, il faut la tourner de 67°. Or par la rotation de l'aiguille de 90°, le centre de gravité monte ou descend de $\frac{8}{25}$ ligne, (paragraphe 36.) & pour en connoître combien ce centre de gravité va de côté, en tournant l'aiguille de 67°, il faut multiplier le sinus de 67° par son cosinus, le diviser par le quarré du sinus total, & multiplier le quotient par $\frac{8}{25}$ ligne; (paragraphe 37.) cette régle donne 0, 115104 lig. c'est-à-dire, que dans la situation horisontale de l'aiguille, son centre de gravité devoit être éloigné du plan vertical qui passoit par l'axe des tourillons, de 0, 115104 lig. Or le poids total de l'aiguille étoit de 6105 grains, qui doit être consideré comme concentré dans le centre de gravité; & ce

poids agissant sur un levier de 0, 115104 lig. fait autant que le poids d'environ deux grains & demi sur un levier de deux pieds, de sorte que l'inflexion de l'aiguille devoit faire le même effet qu'auroit fait un poids de $2\frac{1}{2}$ grains mis à l'extrémité de l'aiguille, si celle-ci avoit été parfaitement roide. Ces $2\frac{1}{2}$ grains doivent donc être ajoutés à $1\frac{1}{2}$ grain, & nous aurons 4 grains qui détournoient l'aiguille de son équilibre de 67°, ce qui donne enfin la force totale (qui est à celle de 4 grains, comme le sinus total au sinus de 67°) égale à $4\frac{1}{3}$ grains, pendant que la seconde expérience marque cette force de $4\frac{2}{3}$ grains. Ce calcul montre donc à présent une grande conformité entre les deux expériences, qui paroissoient auparavant se contredire; je trouve même qu'en supposant l'aiguille avoir été parfaitement équilibrée sous un angle de 60°, les deux expériences donnent alors tout-à-fait une même force Magnétique; l'aiguille doit en effet avoir été équilibrée sous un angle un peu plus petit que n'auroit été l'angle d'inclinaison de la même aiguille, après avoir été aimantée; car par-là cette inclinaison doit être trouvée un peu au-dessous de la vraie inclinaison, & je suis sûr que la vraie inclinaison étoit réellement un peu plus grande que de 67°, puisqu'avec d'autres aiguilles M. Muschenbroeck la trouvoit jusqu'à 72°. Les observations faites en Angleterre presque en même tems, la marquent encore plus grande, ce que je ne crois pas devoir être attribué en tout à l'éloignement des pays. J'ai cru devoir entrer en ce détail, parce qu'il est essentiel de faire voir que nous avons découvert les vraies causes des variations qu'on a observées jusqu'ici dans les Boussoles d'inclinaison, & que nous avons donné les justes mesures de ces causes. Examinons à présent quelles mesures on peut prendre pour prévenir cette source d'erreurs.

§. 40. Comme on peut corriger de plusieurs façons les défauts qui résultent de l'impossibilité du parfait équilibrement de l'aiguille dans toutes ses positions, je les décrirai toutes par ordre.

Il faudra d'abord équilibrer l'aiguille le plus exactement qu'il sera possible, après quoi on observera la position de son équilibre parfait, auquel l'aiguille se mettra d'elle-même; on détournera l'aiguille tant soit peu de cette position, & elle fera quelques balancemens, desquels on mesurera exactement le tems; on prendra encore la mesure du diamétre des tourillons. Cela fait, c'est un problême déterminé de trouver exactement la place du centre de gravité, & sa petite distance à l'axe des tourillons. Les variations de ce centre de gravité causées par les différens ployemens de l'aiguille mise dans une autre situation, se trouvent ensuite par les méthodes que nous avons données dans notre digression sur cette matiere. Enfin, on aimantera l'aiguille, & on pourra toujours, de l'inclinaison observée, trouver exactement la vraie inclinaison par le calcul. Mais comme cette méthode ne seroit que pour un petit nombre de Géométres, je ne m'arrêterai point à l'éclaircir, d'autant que cela me meneroit trop loin, & qu'il faudroit donner en passant la solution de plusieurs nouveaux problêmes. Je passe donc aux autres moyens, plus faciles à mettre en œuvre.

§. 41. On pourra rendre les aiguilles moins pliables, en leur donnant plus de hauteur & moins de largeur. M. Muschenbroeck avoit donné à l'aiguille trois lignes de hauteur, sur deux lignes de largeur; je crois qu'il auroit pû, sans tomber dans aucun nouvel inconvénient, lui donner 4 lignes de hauteur sur $1 \frac{1}{2}$ de largeur.

§. 42. On diminuera très-considérablement l'inflexion de l'aiguille en la rendant plus petite, puisqu'en vertu du paragraphe 32, les inflexions sont en raison biquarrée des longueurs. Donc une aiguille qui conserve sa grosseur, & qui n'a que le quart en longueur, n'aura que la $\frac{1}{256}$ partie d'inflexion; mais si on diminuoit à proportion sa hauteur & sa largeur, cette inflexion en sera augmentée à peu près en raison de 1 à 4: il faut d'ailleurs remarquer, qu'une inflexion égale produit une plus grande erreur dans une

petite aiguille que dans une grande; cette confidération pourra encore augmenter l'erreur caufée par l'inflexion de l'aiguille, à-peu près en raifon de 1 à 4 : j'eftime donc qu'à tout prendre, les erreurs diminueront en raifon quarrée des longueurs des aiguilles. Donc une aiguille d'un pied en longueur, ne fera plus fufceptible que de la feiziéme partie d'erreur. Cependant cette partie fera encore confidérable*, parce que l'erreur dans l'aiguille de 4 pieds eft énorme, outre qu'on renonce, par la trop grande diminution des aiguilles, à d'autres avantages, qui doivent, à mon avis, faire préférer les aiguilles d'environ deux pieds de longueur à toutes les autres. La conféquence que je tire de ces remarques eft, que l'aiguille aimantée étant une machine fimple, qui ne fouffre de changement que dans fa configuration & la proportion de fes parties, on ne peut s'en promettre aucun fuccès conftant, puifque fa feule inflexion caufée par fon propre poids, pourra toujours produire des erreurs de plufieurs degrés. Il faut donc penfer à quelque nouvelle piéce, qu'on puiffe ajouter aux aiguilles. Mais voyons auparavant s'il feroit poffible de changer les tablettes qui doivent porter les tourillons de l'aiguille, de façon que ces erreurs en foient corrigées; car il ne faut pas renoncer à la fimplicité des machines fans néceffité.

§. 43. Suppofons une aiguille parfaitement équilibrée dans fa pofition horifontale; fon inflexion fera alors la plus grande, & fon centre de gravité fera plus bas que dans toute autre fituation : il montera donc à mefure que l'aiguille fe tourne, & il fera le plus haut dans la fituation verticale de l'aiguille. J'ai montré aux paragraphes *33*, *34*, *35* & *36*, comment on peut déterminer pour chaque aiguille très-exactement cette élévation du centre de gravité. Elle étoit environ de $\frac{8}{25}$ lig. dans l'aiguille de 4 pieds, employée par M. Mufchenbroeck. Je la nommerai généralement a : & fi l'on nomme le finus total r, le finus verfe du double angle de l'inclinaifon de l'aiguille s, l'élévation verticale du centre de gravité fera généralement $\frac{s}{2r}a$.

Pour détruire donc l'effet de ces élévations du centre de gravité, on pourroit creuſer légerement la ſurface des tablettes, de ſorte que les tourillons venant à rouler ſur cette ſurface, leur axe deſcende ou monte autant que le centre de gravité de l'aiguille s'éléve ou ſe baiſſe : de cette maniere, le centre de gravité reſteroit toujours dans une même hauteur, & l'inflexion de l'aiguille n'auroit plus aucun effet pour empêcher l'aiguille de tourner librement. La figure ſuivant laquelle il faudroit creuſer les tablettes, eſt repréſentée par la Fig. 5ᵉ, dans laquelle il faudroit faire ab ou plûtôt adb égale à la demi-circonférence des tourillons, la partager en deux également au point c, & faire la petite perpendiculaire $cd = a$; la loi de la courbe adb ſeroit que, ad marquant un angle droit, af l'angle de l'inclinaiſon de l'aiguille, on ait par-tout fe à dc, comme le ſinus verſe de $2\,af$ au double ſinus total. Quand on auroit creuſé les tablettes ſuivant cette loi, on mettroit les tourillons au point a, en donnant en même-tems à l'aiguille ſa ſituation horiſontale, & les tourillons venant à ſe rouler ſur la ſurface adb, le centre de gravité reſteroit toujours à la même hauteur. La courbe adb ſeroit facile à tracer en grand, mais ſur les tablettes, il ſuffiroit de lui donner la courbure autant qu'on peut s'en aſſurer à la vûe; l'eſſentiel ſeroit de faire ab exactement égal à la demi-circonférence des tourillons, & ed parfaitement $= a$. Voilà un reméde que nous fournit la théorie ſpéculative, mais dont je ne fais pas grand cas moi-même pour la pratique. Si j'en ai parlé, ce n'étoit que pour faire voir que je n'ai rien oublié, comme la méthode que je me ſuis propoſée & qui conſiſte à faire une énumération de toutes les corrections poſſibles, le demande.

Comme donc les deux premieres corrections des paragraphes 41 & 42 ne ſont pas ſuffiſantes, & que la troiſiéme marquée dans cet article ne ſçauroit être exécutée avec aſſez de préciſion, il faut néceſſairement quitter l'idée des aiguilles ſimples, & examiner ſi on ne pourra pas y ajouter

quelque nouvelle piéce, pour rendre leurs défauts moins ſenſibles, ou pour les prévenir entierement.

§ 44. On peut parfaitement conſerver l'équilibre, quelque grandes & quelque flexibles que ſoient les aiguilles, & quelque ſituation qu'on leur donne. La maniere d'obtenir ce grand avantage ſi eſſentiel à notre ſujet, eſt fondée ſur ce que j'ai démontré au paragraphe 37, ſçavoir que ſi l'axe des tourillons répond au point g, (*Fig.* 2.) & que le centre de gravité de l'aiguille courbée agb ſoit en c, la petite horiſontale cd, terminée par la verticale ge, eſt proportionelle au produit du ſinus de l'angle que l'aiguille fait avec l'horiſon par ſon coſinus : cette cd eſt donc la même pour deux angles d'inclinaiſon, dont l'un ſoit le complément de l'autre à un droit. Concevons donc d'abord deux aiguilles parfaitement égales en tout, qui ſe croiſent perpendiculairement, portées par les mêmes tourillons, dont l'axe paſſe par le point d'interſection des deux aiguilles. Ces deux aiguilles ſont répréſentées par AB & $A'B'$, (*Fig.* 6.) qui, par leur poids, ſe courberont & prendront la figure agb & $a'gb'$; ſuppoſons le centre de gravité de la premiere en c, & de la ſeconde en c', (dans la figure ces points c & c' ſont trop éloignés du point g, ce que j'ai fait afin que les petites lignes paroiſſent mieux) & tirez la verticale gd avec les horiſontales cd & $c'd'$; cela étant, on obtiendra $cd = c'd'$, parce que le ſinus & le coſinus de l'angle cgd, ſont le coſinus & le ſinus de l'angle $c'gd'$: d'où il ſuit que ces deux aiguilles conſerveront l'équilibre, nonobſtant leur ploiement, quelque poſition qu'on leur donne, & quelque grande que ſoit leur inflexion. Si on tire la petite droite cc', le centre de gravité commun ſera toujours en e, & par conſéquent dans la verticale ge, qui reſtera toujours la même.

Remarque I. Voilà une maniere fort facile de prévenir l'inconvénient cauſé par l'inflexion des aiguilles, & de le prévenir entierement. Je ne doute pas qu'après cela, toutes les obſervations des inclinaiſons des aiguilles

aimantées ne soient parfaitement correspondantes : car je regarde cet inconvénient, auquel on n'avoit pas assez réfléchi, & qu'on n'a jamais prévenu, comme la principale & presque l'unique source du peu de conformité entre les observations faites avec différentes Boussoles d'inclinaison. Les plus habiles ouvriers ont reconnu l'impossibilité d'équilibrer parfaitement une aiguille, mais ils ont cru l'impossibilité relative aux forces humaines, sans reconnoître l'impossibilité absolue & inséparable d'avec la matiere, bien loin d'en calculer les effets, & de reconnoître par-là l'importance de ces recherches. Cette impossibilité absolue de satisfaire à la condition la plus essentielle, est une preuve qu'il faut nécessairement ajouter quelque nouvelle piéce dans la construction des Boussoles d'inclinaison ; & en est-il de plus simple que celle que j'ai décrite, qui, outre cela, a encore un très-grand avantage, c'est celui de faire en même tems la fonction des deux languettes, expliquées au paragraphe *26*, moyennant lesquelles on peut très-facilement & très-exactement équilibrer toute la machine, de sorte que son centre de gravité soit parfaitement dans l'axe des tourillons, qui est l'autre condition, également nécessaire & essentielle, puisqu'il faut absolument que le centre de gravité soit dans l'axe des tourillons, & qu'il y demeure, quelque position qu'on donne à la machine.

REMARQUE II. J'ai dit dans la construction de notre nouvelle Boussole, que les deux aiguilles doivent être parfaitement égales en tout ; à cela on auroit raison de m'objecter que, comme il n'est pas permis de faire l'une & l'autre aiguille d'acier, puisque l'action de l'aiguille aimantée seroit altérée par la non-aimantée, il est impossible de satisfaire à cette condition. Mais il faut remarquer que je n'ai d'abord demandé une parfaite égalité entre les deux aiguilles, que pour rendre notre raisonnement plus clair & plus sensible ; il suffit de faire en sorte que les poids des aiguilles & leurs inflexions absolues, marquées par *g f* dans la 3e Figure soient les mêmes. Cette condition même est encore

encore trop limitée, il ſuffit de faire que le produit du poids par l'inflexion abſolue ſoit le même pour les deux aiguilles; & cette condition eſt très-facile à remplir, quand même on fait une aiguille d'acier & l'autre de cuivre, & qu'elles ſont fort inégales. Il y a pourtant une réflexion fort eſſentielle à faire, qui facilitera extrêmement la conſtruction des deux aiguilles.

REMARQUE III. *Concernant la maniere de conſtruire les deux aiguilles compagnes de la Bouſſole.* Soit af, (*Figure* 7.) l'aiguille de cuivre, qu'on veuille ajuſter à une aiguille donnée d'acier quelconque; je dis qu'il faudra d'abord donner à cette aiguille de cuivre la forme d'un parallelepipéde, fort égal dans toute ſa longueur : ſoit après cela le côté $afgb$ l'un des deux oppoſés, qui reçoivent les tourillons en o: enſuite on cherchera l'inflexion de cette aiguille dans un plan parallele au côté $afgb$, de la maniere que j'ai dit aux paragraphes 33 & 34. On comparera cette inflexion avec celle de l'aiguille d'acier, qu'il faudra chercher de la même façon. Soit l'inflexion de la premiere à celle de la ſeconde comme m à n: après cela il n'y aura plus qu'à limer le côté $afgb$, juſqu'à ce que le poids de l'aiguille de cuivre ſoit à celui de l'aiguille d'acier, comme n à m; car il eſt clair qu'en limant ce côté $afgb$, on ne change pas l'inflexion de l'aiguille, cauſée par ſon propre poids, & qu'on ne diminue par-là que le poids de l'aiguille.

On voit par-là qu'on peut faire l'aiguille de cuivre beaucoup plus petite que celle d'acier, ſi on le trouve plus convenable pour ne pas charger inutilement les tourillons, pourvû qu'on la rende d'autant plus flexible. Cette conſtruction eſt donc très-aiſée; mais je recommande ſur-tout de faire les aiguilles exactement uniformes dans toute la longueur, tant par rapport à la matiere, que par rapport à la configuration, & qu'on cherche très-exactement les inflexions des aiguilles, marquées par gf de la Figure 3e, & qu'on ſoit attentif à rendre les poids réciproquement

proportionels aux inflexions avec beaucoup d'exactitude.

§. 45. On pourra encore conserver parfaitement l'équilibre de la maniere qui suit. Soit dans la huitiéme Figure, *AB* une aiguille droite: qu'on y ajoute au milieu une languette perpendiculaire *gm*, chargée d'un petit poids mobile en *n*. On voit que par le moyen de ce petit poids mobile, on pourra mettre l'aiguille en équilibre dans telle position qu'on voudra; on pourroit trouver par le calcul, combien il faut descendre ou monter le petit poids pour tenir l'aiguille en équilibre sous un angle donné; mais je crois qu'il vaut mieux chercher par des expériences, dans quels endroits il faudra mettre le petit poids pour équilibrer l'aiguille succéssivement sous un angle d'inclinaison de 5, 10, 15° &c. jusqu'à 90°. Pour faire ces observations avec plus d'exactitude, on pourra caneler en vis la languette *gm*, qui entre dans l'écrou du petit poids *n*; placer d'abord le petit poids au sommet de la languette; mettre l'aiguille dans sa situation horisontale, & puis l'équilibrer pour cette situation, mais l'équilibrer de maniere que la moindre inclinaison fasse trébucher l'aiguille, ce qui est facile à faire; après cela il faudra donner à l'aiguille une inclinaison de 5°, & descendre le petit poids en le tournant, jusqu'à ce que l'aiguille conserve d'elle-même son inclinaison de 5°. On sent bien que cela est possible, puisqu'en laissant le petit poids au sommet, l'aiguille trébucheroit; & qu'en le descendant trop, l'aiguille retourneroit vers sa situation horisontale: on fera cette manœuvre de 5 en 5 degrés, & on marquera à chaque fois le nombre de tours qu'il a fallu donner au petit poids. Enfin, après ces préparations, on aimantera l'aiguille.

Pour se servir de l'aiguille, on montera ou descendra le petit poids, jusqu'à ce que l'inclinaison marquée par l'aiguille s'accorde avec celle que marque le petit poids *n* sur la languette.

Cette méthode d'observer l'inclinaison des Boussoles, nous fourniroit un grand nombre de réflexions: mais

comme je lui préfére, quoiqu'elle soit très-bonne, celle qui suivra, bâtie à peu près sur le même principe; je ne m'arrêterai pas à les exposer ici, d'autant que je suis persuadé qu'elles n'échapperont pas au Lecteur. M. Muschenbroeck a déja employé la languette mg, pour corriger l'effet des inflexions de l'aiguille; mais je ne vois pas quel avantage on tireroit de cette languette, sans le petit poids n, qui seul corrige lesdites inflexions. La remarque la plus essentielle, que je ne crois pas devoir passer sous silence, concerne la proportion des parties. Or comme le petit poids n sert sur-tout à corriger les inflexions de l'aiguille, nous supposerons d'abord l'aiguille dans sa situation horisontale, & courbée en agb, & que l'axe des tourillons soit au point g: soit le centre de gravité commun de l'aiguille & de la languette au point c, & nommés gc, $= \alpha$: soit le poids total de l'aiguille & de la languette $= P$; le petit poids $n = p$, & faites $gm = \frac{P}{p} \alpha$: on voit que si on place ensuite le poids n en m, le centre de gravité qui étoit auparavant c, sera élevé au point g: si vous donnez ensuite à l'aiguille une inclinaison dont le cosinus soit c, en nommant le sinus total r; il faudra faire $gn = \frac{c}{r} \times gm$, placer le petit poids en n, & le centre de gravité de tout le systême sera encore en g: on pourroit donc faire les divisions sur la languette par ce calcul, ce que je vais éclaircir par un exemple.

Soit le poids total de l'aiguille & de la languette de 6000 grains: la petite distance $gc = \frac{1}{3}$ ligne: nous avons montré comment on peut toujours la trouver avec la derniere précision: soit le poids $p = 60$ grains: nous aurons pour ces suppositions, $P = 6000$; $p = 60$; $\alpha = \frac{1}{3}$; & nous trouverons d'abord $gm = 33\frac{1}{3}$ lig. Si l'on vouloit ensuite chercher le point n, où il fallût mettre le petit poids pour équilibrer l'aiguille sous un angle de 30°, il faudroit multiplier ladite quantité de $33\frac{1}{3}$ lig. par le cosinus de 30°, & diviser

par le ſinus total, & par conſéquent faire la diſtance $g\,n$ $= 28, 867$ lignes, & ainſi des autres cas.

Mais il vaut encore mieux d'obſerver les points n, parce que de cette maniere on remédie en même tems à tous les autres inconvéniens, au lieu que par le calcul on remédie ſeulement aux inflexions de l'aiguille, qui eſt, à la vérité, le plus grand inconvenient, mais qui n'eſt pas le ſeul.

§. 46. Il nous reſte encore une méthode, fondée à peu près ſur les mêmes principes que la précédente.

Soit AB, (*Fig. 9.*) l'aiguille partagée en deux au point g, autour duquel je la ſuppoſe librement mobile; ſoit ſon centre de gravité dans un point quelconque f, en ſuppoſant pourtant fg très-petite: du centre g, tirez par le point f le cercle $h\,f\,d\,m$, ſuppoſez après cela le petit poids p mobile tout le long de l'aiguille, qui, dans ſa place p, tienne l'aiguille dans ſa ſituation horiſontale; tirez la droite $f\,p$, qui coupe la verticale $m\,g\,h$ en o, & puis l'horiſontale $f\,e$: nommez P le poids de l'aiguille, & p le petit poids mobile; on aura par la nature de l'équilibre, $P \times fe = p \times pg$: après cela ſuppoſez l'aiguille dans une ſituation quelconque $a\,b$: le centre de gravité de l'aiguille s'éloignera davantage de la verticale $m\,g\,h$, & ſi l'aiguille étoit parfaitement roide, il viendroit en d, en faiſant l'angle dgf égal à l'angle $a\,g\,A$: mais on voit qu'on peut auſſi éloigner le petit poids p, pour que l'équilibre ſubſiſte encore; je ſuppoſe qu'il faille le mettre en u, & je me propoſe de trouver $p\,u$, en faiſant encore abſtraction de l'inflexion de l'aiguille.

Du centre g, décrivez les arcs-de-cercle $p\,q$ & $u\,r$; tirez auſſi la droite $d\,r$, qui coupe la verticale $m\,g\,h$ en t, de même que les horiſontales $d\,c$ & $r\,s$; nous aurons encore $P \times dc = p \times rs$, à cauſe de l'équilibre nouveau; ſoit le ſinus de l'angle d'inclinaiſon $a\,g\,A$, ou $dgf = s$, ſon coſinus $= c$, le ſinus total $g\,h = r$; on trouvera $d\,c = \frac{c}{r} \times fe + \frac{s}{r} \times ge$, & $r\,s = \frac{c}{r} \times g\,r$; ces valeurs étant ſubſtituées, nous aurons,

$$P \times \frac{c}{r} \times fe + P \times \frac{s}{r} \times ge = p \times \frac{c}{r} \times gr.$$

Cette équation nous donne $gr = gu = gp + pu = \frac{P}{p} \times fe + \frac{P}{p} \times \frac{s}{c} \times ge$; or, $p \times gp = P \times fe$, ou $gp = \frac{P}{p} \times fe$; il refte donc fimplement,

$$pu = \frac{P}{p} \times \frac{s}{c} \times ge.$$

On peut donner à cette équation une autre forme plus commode; foit fe ou le finus de l'angle $fgh = m$; fon cofinus $ge = n$; on aura $ge = \frac{n}{m} \times fe$; mettez à la place de fe fa valeur $\frac{p}{P} \times gp$, & vous aurez $ge = \frac{n}{m} \times \frac{p}{P} \times gp$, & cette valeur étant fubftituée dans notre équation, on aura

$$pu = \frac{n}{m} \times \frac{s}{c} \times gp.$$

Cette équation nous marque comment il faudroit placer le petit poids p, pour tenir l'aiguille en équilibre, quelqu'inclinaifon qu'on lui donne, fuppofé que l'aiguille ne fouffre aucune inflexion ; elle nous donne à connoître que les diftances pu font en raifon directe des finus des angles d'inclinaifon, & en raifon inverfe de leurs cofinus.

Je vais éclaircir cela par un exemple, afin qu'on ne puiffe foupçonner notre méthode d'aucun inconvénient. Soit AB de 4 pieds, ou de 576 lignes, le poids de l'aiguille de 6000 grains & le petit poids p de 10 grains; foit la diftance gp de 12 lignes, c'eft-à-dire, qu'il faille mettre d'abord le petit poids à la diftance de 12 lignes, depuis l'axe des tourillons, pour donner à l'aiguille l'équilibre horifontal : quant à l'angle fgh, on le trouvera en ôtant entierement le poids p, & en obfervant enfuite combien Ag fe met au-deffous de l'horifon. Suppofé qu'on ait trouvé cet angle de 45°, on aura $\frac{n}{m} = 1$. Ces fuppofitions demandent que fg foit de $\frac{1}{25}$

de ligne. Si on vouloit que cette diſtance *fg* fût plus grande, en conſervant à *gp* ſa valeur de 12 lignes, il faudroit augmenter à proportion le petit poids *p*. Voici à préſent une petite Table de diſtances *gu* en milliémes parties de pouces, en faiſant varier les inclinaiſons de l'aiguille de 5 en 5 degrés.

Inclinaiſons de l'Aiguille, exprimées par degrés.	*Diſtances du petit poids, depuis l'Axe des Tourillons en milliémes parties de pouces.*
0	1, 000
5	1, 087
10	1, 176
15	1, 268
20	1, 364
25	1, 466
30	1, 577
35	1, 700
40	1, 839
45	2, 000
50	2, 192
55	2, 428
60	2, 732
65	3, 214
70	3, 747
75	4, 732
80	6, 671
85	12, 430
90	infinie.

Cette Table nous donne à connoître quelle loi les diſtances du petit poids mobile obſerveroient par rapport aux inclinaiſons de l'aiguille, pour la tenir toujours dans un parfait équilibre, ſi l'aiguille n'avoit point d'inflexion, ou que ſon inflexion fût conſtamment la même : mais comme ces inflexions varient, il faut ſuivre un autre calcul ; pour

n'être pas trop prolixe, je n'indiquerai le calcul que dans un cas.

Suppoſons que l'aiguille ſoit équilibrée horiſontalement, ce qui demande que l'angle fgh ſoit nul, auſſi bien que la premiere diſtance gp. Le centre de gravité ſe trouvera alors dans la ligne gh; mais ſa diſtance au point g, doit être cenſée compoſée de deux parties : la premiere eſt dûe à l'inflexion de l'aiguille, (elle eſt indiquée par gc dans la 3e Figure) que je nommerai α, & à cette partie j'ajoute encore une autre β, qui reſte toujours la même; je conſidere cette petite diſtance β, parce qu'il n'eſt pas dans notre pouvoir de faire rencontrer le centre de gravité préciſément dans le point que nous nous propoſons. Ceci poſé, on voit facilement par les principes que nous avons expliqués juſqu'ici, qu'on aura cette équation.

$P\frac{sc}{rr}\cdot\alpha + P\frac{s}{r}\cdot\beta = p\times\frac{c}{r}\cdot x$, dans laquelle on ſuppoſe $gu = x$, & que mettant le petit poids en u, l'aiguille ſera équilibrée dans ſa ſituation agb; on aura donc cette équation,

$$gu = x = \frac{Prs\beta + Psc\alpha}{pcr}.$$

Je ne pouſſe pas plus loin ces calculs, parce que mon intention n'eſt pas de m'en ſervir pour faire les diviſions dans la partie de l'aiguille gB, mais ſeulement de faire ſentir que la conſtruction que je vais donner n'eſt abſolument ſujette à aucun inconvénient.

Conſtruction d'une autre nouvelle Bouſſole. Il faut donc d'abord ajouter à la partie gB, un petit poids comme de dix grains, pour une aiguille d'environ 6000 grains; approcher ce petit poids des tourillons, juſqu'à environ la vingt & quatriéme partie de gB; enſuite mettre toute l'aiguille en équilibre avec la même attention qu'on a employée juſqu'ici dans la conſtruction des aiguilles ſimples, en laiſſant le petit poids toujours dans ſa place. On pourra pourtant laiſſer à l'aiguille un peu plus de panchant pour la ſituation

horisontale que pour sa situation verticale. Cela fait, il faut avancer ou reculer le petit poids p, jusqu'à ce que l'aiguille se mette horisontalement, & marquer subtilement l'endroit du petit poids. Après cela, il faut l'approcher de l'extrémité B, jusqu'à ce que l'aiguille prenne une inclinaison de 5 degrés, & en marquer encore l'endroit, & ainsi de suite, en augmentant les inclinaisons de l'aiguille de 5 en 5 degrés.

Après ces préparations, il faut aimanter l'aiguille, en observant que le côté de l'aiguille auquel est attaché le petit poids, devienne le côté Boreal, pour les pays où la pointe Méridionale de l'aiguille s'éléve, & qu'au contraire ce côté devienne le côté Méridional, pour les pays où l'inclinaison de l'aiguille se fait d'un sens contraire. Et voilà toute la construction.

Maniere de se servir de cette nouvelle Boussole. Elle ne consiste qu'à mettre d'abord le petit poids à la place qu'on présumera convenir à peu près à la véritable inclinaison de l'aiguille; après quoi on avancera ou reculera le petit poids, jusqu'à ce que l'inclinaison marquée par l'aiguille s'accorde avec celle que marque le petit poids; & de cette façon, l'inclinaison marquée par l'aiguille, sera la véritable inclinaison: car comme l'aiguille reste toujours dans un équilibre parfait, une force infiniment petite peut l'en faire sortir, comme nous avons démontré; & si l'inclinaison de l'aiguille n'étoit pas la véritable, la pesanteur Magnétique agiroit encore sur l'aiguille, & ne lui permettroit pas de se tenir en repos. Je suis entierement persuadé du succès parfait de cette nouvelle Boussole, qui n'a aucun inconvénient, qui remédie à la fois aux deux grandes difficultés que nous avons examinées si scrupuleusement jusqu'ici; sçavoir à l'impossibilité morale de placer le centre de gravité dans un point donné, & à l'impossibilité absolue de fixer ce centre de gravité, & qui remédie encore à un troisiéme inconvénient, dont je n'ai point encore fait mention, & que j'indiquerai dans la suite: je n'ajouterai que deux remarques, qui m'ont paru les plus essentielles.

REMARQUE

REMARQUE I. Plus on aura réuſſi à équilibrer l'aiguille, & à la rendre indifférente à toutes les poſitions, plus on pourra diminuer le petit poids : deux ou trois grains auroient été ſuffiſans pour l'aiguille de M. Muſchenbroeck. On pourra remarquer ici, que la plus grande exactitude poſſible dans l'équilibrement, conſiſte à mettre l'axe des tourillons entre les points g & c, de la troiſiéme Figure : en ce cas, la quantité β devient négative, & les diviſions ſur gB (*Fig. 9.*) ſe feront à peu près comme le marque cette équation.

$$gu = x = \frac{Psc\alpha - Prs\beta}{pcr};$$

dans laquelle pourtant la quantité α eſt toujours plus grande que β. Cette équation nous fait voir qu'il faudra d'abord éloigner le petit poids des tourillons ; enſuite il reſtera preſque dans la même place, & quand on augmentera davantage l'inclinaiſon de l'aiguille, on trouvera qu'il faudra rapprocher le petit poids des tourillons ; il faudra même le placer préciſément dans l'endroit des tourillons, lorſqu'on aura $c = \frac{\beta}{\alpha} r$, après quoi il faudra le mettre ſur le côté oppoſé gA, en l'avançant continuellement vers A. S'il étoit en notre pouvoir de placer le centre de gravité préciſément au point qu'on ſe propoſe, je conſeillerois de le placer pour la ſituation horiſontale de l'aiguille, en ſorte que l'axe des tourillons fût préciſément au milieu du centre de gravité & du ſommet de la courbure de l'aiguille. En ce cas, un grain & demi ſuffiroit pour équilibrer une aiguille longue de 4 pieds, & du poids de 6000 grains, dans toutes ſes poſitions. Si on prend le poids plus grand que d'un grain & demi, les diviſions en deviendront plus ſerrées : mais ces aiguilles faites avec tant d'exactitude, demandent auſſi des Obſervateurs très-habiles, & d'être maniées avec une grande délicateſſe. Il n'y aura point de mal à rendre les aiguilles un peu moins mobiles, à placer l'axe des tourillons un peu plus haut, & à faire ledit poids mobile un peu plus

grand; il faudra sur-tout se relâcher beaucoup sur la trop grande mobilité des aiguilles, quand elles doivent servir sur mer; je traiterai cet article dans la suite. Ces Boussoles ont ce grand avantage, qu'elles peuvent encore servir avec assez d'exactitude, quoique le centre de gravité soit considérablement plus bas que l'axe des tourillons.

REMARQUE II. J'ai déja indiqué que ces Boussoles remédient en même tems à un troisiéme inconvénient, qui est le seul que nous n'avons pas encore examiné. Ce sont les défauts que peuvent avoir les tourillons. Ils devroient être parfaitement ronds. Tous les Auteurs en ont reconnu la nécessité; & ils ont même attribué une grande partie des défauts qu'ils ont remarqués dans les Boussoles d'inclinaison, à la non-parfaite cylindricité des tourillons. Je ne sçais s'ils sont assez fondés là-dessus; & il me semble que de la façon qu'on construit les tourillons, ils ne sçauroient manquer d'être assez arrondis, pour ne plus pouvoir occasionner d'erreur sensible : quoi qu'il en soit, leur non-parfaite cylindricité ne peut produire aucune erreur dans nos Boussoles, puisque je suppose les divisions faites sur l'aiguille, non par le calcul, mais par des observations. Ces divisions observées, redresseront tous les défauts, de quelque nature qu'ils soient.

§. 47. Examinons donc enfin, quel empêchement la non-parfaite cylindricité des tourillons peut causer aux Boussoles d'inclinaison, lorsqu'on ne la redresse point par les corrections que nous venons de décrire. Pour cet effet, supposons que la section perpendiculaire des tourillons soit une ellipse presque circulaire, dont le grand axe soit a, & le petit axe $a - \alpha$, en considérant α comme beaucoup plus petit que a : supposons aussi que dans la position verticale du petit axe de cette ellipse, le centre de gravité de l'aiguille se trouve précisément dans l'axe des tourillons, qui passe par les centres de toutes les ellipses, ce centre de gravité s'éloignera du plan vertical qui passe par la ligne d'appui, aussi-tôt que l'aiguille se tournera, & sa distance sera



généralement $=\frac{sc}{rr}\alpha$: ſi l'on entend par r le ſinus total, par s le ſinus de l'angle de rotation de l'aiguille, & par c le coſinus de cet angle. Cette diſtance eſt donc la plus grande lorſque vous détournez l'aiguille de ſa premiere ſituation, d'un angle de 45 degrés, & elle devient alors $=\frac{1}{2}\alpha$. Il eſt donc vrai que ſi on s'éloignoit, dans la conſtruction des tourillons, tant ſoit peu de la figure cylindrique, ces petites erreurs en pourroient cauſer de bien grandes, dans les obſervations de l'inclinaiſon des Bouſſoles ordinaires; car ſi le grand axe de notre ellipſe étoit d'une demi-ligne, & que ce grand axe fût au petit axe, par exemple comme 20 à 19, la différence des deux axes indiquée par α, ſeroit $\frac{1}{40}$ de ligne, & ſa moitié $\frac{1}{80}$ de lig. marqueroit combien le centre de gravité pourroit ſe jetter de côté, par la révolution de l'aiguille ſur ſes tourillons ellipſoïdiques. Or il eſt certain que de-là il pourroit naître des erreurs de quelques degrés, dans les obſervations de l'inclinaiſon de l'aiguille; c'eſt donc un nouveau degré de perfection à nos Bouſſoles, puiſqu'elles remédient en même tems à cet inconvénient.

§. 48. J'oſe donc me flatter, non-ſeulement qu'on ne déſapprouvera pas ces nouvelles Bouſſoles, mais encore que l'on ſera perſuadé par les raiſonnemens qui nous y ont conduit, qu'elles ſont les plus parfaites & les plus ſimples qu'il étoit poſſible de donner. Ce qui eſt le plus recherché & le plus ingénieux, n'eſt pas toujours le plus préférable, ſur-tout quand on n'a pas commencé ſes recherches par une exacte théorie; on trouve ſouvent dans les machines qu'on propoſe, un certain tour d'invention, qui, étant examiné ſelon les vrais principes de méchanique, eſt tout-à-fait ridicule, ce que je pourrois confirmer par un grand nombre d'exemples. Je ſouhaite qu'on faſſe l'épreuve de ces Bouſſoles; mais comme elles demandent beaucoup d'attention, tant dans la conſtruction que dans les obſervations, les premiers eſſais pourront ne m'être pas auſſi favorables que les épreuves réitérées. Il y a une infinité de

petites choſes à obſerver dans nos méthodes, pour leur donner tout l'avantage dont elles ſont ſuſceptibles, qui peuvent échapper dans les premiers eſſais, comme d'équilibrer l'aiguille & de la rendre mobile juſqu'à un certain point; d'y proportionner le petit poids; le choix de l'équilibrement principal, de l'endroit où il convient de placer le petit poids dans l'équilibrement principal, &c. Il n'y a que ceux qui ont bien examiné nos principes, qui pourront décider toutes ces queſtions, ſans aucun eſſai préalable. Les autres ne le feront qu'après un grand nombre d'obſervations déja faites. Tout ce détail m'emporteroit trop loin, & ennuieroit peut-être. Je me contenterai de remarquer en général, que lorſque la Bouſſole doit ſervir pour tous les pays, on pourra s'en tenir aux conſtructions telles que je les ai décrites; mais que ſi elle ne doit ſervir que dans une même ville, on fera mieux de mettre d'abord le petit poids au milieu des tourillons & de l'extrémité de l'aiguille; d'équilibrer enſuite l'aiguille pour la même poſition, qu'on ſoupçonnera être ſon inclinaiſon, après qu'on l'aura aimantée, & de la rendre aſſez mobile, pour qu'en faiſant parcourir au petit poids l'eſpace d'environ deux pouces, l'aiguille ſoit détournée de ſa ſituation d'environ 5 degrés, après quoi on pourra faire les diviſions de degré en degré. Cette précaution d'équilibrer l'aiguille ſous le même angle, qu'on croira être la vraie inclinaiſon de la Bouſſole, & de rendre en même tems l'aiguille fort mobile, ſuffit preſque ſeule pour connoître aſſez préciſément les inclinaiſons de la Bouſſole, & leurs variations d'un tems à un autre; mais ces Bouſſoles ne ſeront pas tout-à-fait ſi exactes, que ſi on y ajoutoit en même tems le petit poids mobile, & ne pourront ſervir que pour une même ville. Si on vouloit faire 90 aiguilles, équilibrées chacune ſous un angle différent, & de degré en degré, cette proviſion d'aiguilles toutes ſimples, ſuffiroit pour connoître avec beaucoup de préciſion la vraie inclinaiſon dans tous les pays du monde, & en tout tems; il n'y auroit

qu'à examiner laquelle de ces aiguilles feroit la moins éloignée de fon équilibrement naturel, par l'action de la pésanteur Magnétique.

§. 49. Difons encore un mot fur l'attention qu'on doit apporter à mettre les deux tablettes bien horifontalement. Suppofons que ces tablettes aient une petite inclinaifon, dont le finus foit $= s$, & le finus total $= r$, & foit le rayon des tourillons $= \mathfrak{C}$, il eft clair que fi l'on fuppofe le centre de gravité de l'aiguille précifément dans l'axe des tourillons, il ne fera plus dans le plan vertical qui paffe par la ligne d'appui, mais qu'il en fera éloigné de $\frac{s}{r}\mathfrak{C}$, ou plûtôt de $\frac{s\sqrt{rr-ss}}{rr}\mathfrak{C}$. Soit, par exemple, $\mathfrak{C} = \frac{1}{4}$ ligne, & l'angle d'inclinaifon des tablettes d'un degré, la diftance dudit centre de gravité au plan qui paffe par la ligne d'appui, fera de $\frac{1}{229}$ ligne; ce qui, dans l'aiguille de M. Mufchenbroeck, auroit encore pû caufer une erreur d'environ un degré dans l'inclinaifon de la Bouffole. (parag. 25.)

§. 50. Cette réflexion nous fournit une maniere de connoître tout d'un coup l'erreur totale que peuvent caufer tous les défauts qui fe trouvent dans une aiguille ordinaire non-aimantée : c'eft d'incliner peu à peu les tablettes, jufqu'à ce que les tourillons venant à fe rouler, l'aiguille ait fait un tour entier. On verra que l'inclinaifon qu'il faudra donner aux tablettes pour cet effet, fera affez confidérable; car il faut qu'elle redreffe tout ce que le petit frottement, l'imparfait équilibrement, la variation du centre de gravité, les défauts des tourillons peuvent opérer fur l'aiguille, pour l'empêcher de tourner librement : quand on aura remarqué le plus grand angle qu'il aura fallu donner à l'inclinaifon des tablettes, on nommera fon finus s, & il eft clair que la quantité $\frac{s}{r}\mathfrak{C}$, ou fi l'on veut, $\frac{s\sqrt{rr-ss}}{rr}\mathfrak{C}$, multipliée par le poids de l'aiguille, marquera le plus grand effort requis pour donner un tour entier à l'aiguille, en la

ſuppoſant couchée ſur des tablettes horiſontales ; & de-là on connoîtra par le vingt-cinquiéme paragraphe, combien cet effort peut détourner l'aiguille aimantée de ſa juſte inclinaiſon. Dans l'aiguille de M. Muſchenbroeck, l'angle d'inclinaiſon des tablettes, eſt à peu près égal à l'angle d'erreur qui en peut réſulter dans l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée ; & comme cette erreur ſe peut trouver également des deux côtés, il faut encore prendre le double, pour connoître toute la variation poſſible. Si M. Muſchenbroeck avoit fait de cette maniere l'épreuve de cette aiguille, je ſuis ſûr qu'il auroit trouvé qu'il falloit incliner les tablettes de 4 à 5 degrés, pour faire faire un tour entier à l'aiguille.

§. 51. Voilà donc mes réflexions les plus eſſentielles ſur la meilleure conſtruction des Bouſſoles d'inclinaiſon ; je ne dirai rien ſur les précautions générales qu'on doit prendre pour donner aux aiguilles la plus grande vertu Magnétique, & pour s'aſſurer de tous les autres avantages. Tous les livres qui traitent de cette matiere en ſont remplis ; ce n'eſt pas ici l'endroit de répéter ce que les autres ont dit : je me contenterai donc de dire, qu'il faut être exact à mettre l'aiguille dans le plan du méridien Magnétique : j'aurai occaſion de toucher cet article, & de faire voir comment on peut obtenir que l'aiguille s'y mette d'elle-même très-exactement, auſſi tôt qu'on l'en aura approchée, & comment on pourra en même tems éviter encore le petit frottement des tourillons qui doivent rouler ſur les tablettes. Au reſte, on ſent aſſez, ſans que je le diſe, que les aiguilles doivent être conſervées avec une extrême attention. Je crois que le meilleur ſera de les tenir ſuſpendues verticalement. Sur mer, on pourra les attacher par les deux bouts, & tâcher en même tems de conſerver leur poſition verticale : ſi on vouloit vérifier de tems en tems les diviſions faites ſur nos Bouſſoles, il faudra leur ôter toute leur vertu Magnétique, ce qu'on fait en les mettant au feu, & en les laiſſant enſuite ſe refroidir dans leur ſituation horiſontale ;

peut être vaudroit il mieux les mettre dans le plan de l'équateur Magnétique.

J'ai oublié de dire que lorſque les aiguilles ſouffrent de grandes inflexions, ce n'eſt pas proprement l'extrémité de l'aiguille qui marque ſon inclinaiſon, mais la tangente tirée au point *g*; (*Fig.* 2.) d'où il eſt clair qu'il faudra toujours ajouter à l'arc marqué par l'extrémité *a*, un petit arc qui ſoit égal à *gf*, qu'on peut connoître exactement par nos méthodes, & qui eſt proportionnel au coſinus de l'angle d'inclinaiſon de l'aiguille. Dans celle de M. Muſchenbroeck, cette *gf* pouvoit être de $\frac{4}{5}$ de ligne, ſon inclinaiſon étant nulle, & pour ſon inclinaiſon de 67°, la petite *gf* auroit été d'environ $\frac{1}{3}$ de lig. ou de $\frac{1}{864}$ partie de la moitié de l'aiguille, laquelle moitié étant priſe pour le rayon, & concevant la droite *ag*, l'angle *Aga* ſeroit de 4 minutes, qu'il faudroit ajouter à l'angle marqué par l'extrémité de l'aiguille courbée par ſon poids, & ainſi des autres exemples. On pourra donc faire une Table pour ces petites corrections. Examinons à préſent quelle eſt la meilleure maniere de faire les obſervations de l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée ſur mer, ce qui fait la ſeconde partie de la queſtion propoſée par l'Académie.



Sur la meilleure maniere d'obſerver ſur Mer l'Inclinaiſon de l'Aiguille aimantée.

§. 52. NOus avons vû de quelle maniere on pourra connoître exactement l'inclinaiſon de l'aiguille; mais nous avons vû auſſi avec quelle exactitude & quels ſoins les obſervations doivent être faites; le moindre mouvement, le ſouffle, un caroſſe qui paſſe, tout pourra incommoder l'Obſervateur. Quel ſuccès donc ſe promettre de ces ſortes d'obſervations ſur mer ? C'eſt un point que je me propoſe encore d'examiner & de réduire à ſes premiers principes, pour être d'autant mieux fondé dans les remarques que je ferai ſur cette matiere.

§. 53. J'ai démontré au paragraphe dixiéme & dans les précédens, que ſi on vouloit rendre les tourillons mobiles dans des viroles, le frottement que j'ai appellé parallele, emporteroit ſeul preſque tout l'effet de la peſanteur Magnétique; cette réflexion nous a conduit naturellement au mouvement roulant des tourillons ſur des tablettes horiſontales: mais comme de cette façon l'aiguille eſt entierement libre, les roulis du vaiſſeau pourront facilement la jetter de côté & d'autre : on pourra remédier en quelque façon à cet inconvénient, en ajoutant aux tablettes des rebords, tant en dehors qu'aux deux côtés; mais auſſi-tôt que les tourillons viennent à toucher les bords, ils ne peuvent plus rouler, & ne ſçauroient ſe tourner que ſur leur axe, & dès-lors il ſe fait un frottement parallele, qu'on doit toujours éviter. C'eſt pourquoi l'Obſervateur prendra bien garde, qu'au moment de l'obſervation les tourillons ne touchent point les bords des tablettes. Cela ne ſera pas difficile, ſi la mer eſt un peu calme; & ſi elle ne l'eſt point, il eſt ſuperflu d'entreprendre ces ſortes d'obſervations. J'ai démontré auſſi au paragraphe 49, de quelle conſéquence

il

il eſt de faire les tablettes bien horiſontales; c'eſt pourquoi il faudra enchaſſer ces tablettes dans une piece mobile, qui, par ſon propre poids, retienne les tablettes dans cette poſition, & qu'on puiſſe en même tems tourner autour d'un axe vertical, pour mettre l'aiguille dans le plan du méridien Magnétique. Je crois auſſi que trop d'exactitude à équilibrer l'aiguille, pourroit faire ſur mer plus de mal que de bien; je conſeillerois plûtôt de faire en ſorte que le centre de gravité ſoit d'environ une demi-ligne au-deſſous de l'axe des tourillons, & d'augmenter à proportion le poids mobile ſur l'aiguille. La Bouſſole en aura d'autant plus de penchant à s'approcher de ſa juſte inclinaiſon; & ne s'en laiſſera pas détourner ſi facilement. C'eſt un grand avantage à nos Bouſſoles, de marquer aſſez exactement l'inclinaiſon, quoique leur centre de gravité ſoit perpétuellement au-deſſous de l'axe des tourillons; & on doit profiter de cet avantage ſur mer: il eſt vrai que les obſervations en ſeront un peu moins exactes; mais il vaut mieux ſe relâcher un peu ſur l'exactitude, que de ſe mettre hors d'état de faire les obſervations, pour peu que le vaiſſeau ſoit agité. Voilà, ce me ſemble, toutes les précautions qu'on peut prendre ſur mer, à moins qu'on n'en vienne à des principes tout différens de ceux que nous avons conſiderés juſqu'ici : voyons s'il n'eſt pas poſſible d'en trouver de nouveaux.

§. 54. Je remarque que ce qui rend les obſervations de l'inclinaiſon de la Bouſſole preſque impraticables ſur mer, c'eſt qu'il n'eſt pas permis de retenir les tourillons dans des virolles, parce que les frottemens en deviendroient trop grands; examinons donc s'il n'eſt pas poſſible d'imaginer quelque nouveau principe pour prévenir les frottemens, & qui permette de retenir les tourillons dans leur aſſiette. Voilà les réflexions que j'ai faites là-deſſus.

Un corps ſolide ne peut changer de poſition ſans mouvement relatif: ce mouvement ſe fait ou ſur un corps ſolide, (& en ce cas je ſuis perſuadé qu'on ne ſçauroit perfectionner

l'ufage des Bouffoles d'inclinaifon plus que nous avons fait ; foit par terre, foit par mer :) ou il fe fait dans un fluide ; c'eft donc uniquement de ce nouveau principe des fluides, qu'on peut encore efperer quelque fecours.

§. 55. Tout fluide réfifte aux corps par l'inertie de fes parties. Cette réfiftance eft proportionelle aux quarrés des vîteffes ; elle ne fçauroit donc jamais empêcher le moins du monde les corps qui nagent dans les fluides, de prendre parfaitement la fituation que demande l'équilibre par rapport à la pefanteur du fluide, & du corps qui y nage ; puifque tout fon effet ne peut confifter qu'à retarder un peu cette fituation. Il eft vrai qu'il y a dans les fluides quelques autres réfiftances à confiderer, qui fe remarquent fur-tout dans les mouvemens fort lents ; mais toutes les expériences prouvent clairement, que dans les fluides qui n'ont point de tenacité, tels que l'eau, le mercure, &c. toutes ces réfiftances dépendent fimplement des vîteffes, & qu'elles ne fçauroient jamais empêcher les corps de fe mettre très-parfaitement dans leur fituation d'équilibre. Qu'on attache, par exemple, à un fil très-délié, auffi long qu'on voudra, un poids d'une pefanteur fpécifique, tant foit peu plus grande que l'eau ; ce poids fubmergé fous l'eau, remettra toujours le fil très-parfaitement dans la fituation verticale, quoiqu'il n'y foit pouffé que par une force prefque infiniment petite. S'il y a donc moyen de prévenir entiérement le frottement, c'eft uniquement par le fecours des fluides, qu'on pourra obtenir cet avantage. Cela m'a fait penfer, fi l'on ne pourroit pas fe fervir des aiguilles d'inclinaifon à peu près de la maniere qui fuit.

§. 56. Soit *AB*, (*Fig. 10.*) l'aiguille ; *CD*, l'axe des tourillons, qui traverfe deux petits globes, en paffant par leur centre *E* & *F*, auxquels ils doivent être affermis ; que ces globes foient arrondis avec grand foin, parfaitement égaux & homogènes ; après cela, je fuppofe deux cylindres, tels que repréfentent *MPQT*, (*Fig. 11.*) dont le diamétre intérieur foit un peu plus grand que celui des

globes qui y doivent entrer, & que ces cylindres ſoient remplis de mercure juſqu'en *NR*; au bord de chaque cylindre, on entaillera verticalement une coupure *TS*, pour y paſſer les tourillons de l'aiguille : après quoi la douziéme Figure marque comment les deux globes ſont ſoutenus par le mercure dans les deux cylindres. Enfin, on mettra l'aiguille en équilibre de 5 en 5 degrés, moyennant le petit poids *p*, comme au paragraphe 46.

§. 57. Je me contenterai d'avoir expoſé en gros mes idées là-deſſus, quoique je voie bien qu'il faudra être attentif à un grand nombre de circonſtances : on tâchera ſur-tout d'approcher de fort près le centre de gravité de l'aiguille de l'axe des tourillons; de faire les deux boules parfaitement égales; de les bien arrondir; de faire que leur centre de gravité ſoit dans le centre des boules, & de paſſer l'axe des tourillons exactement par leſdits centres. Cependant toutes les petites erreurs qu'on commettra, ſeront redreſſées par les diviſions convenables, qui marqueront les juſtes endroits du petit poids *p*, pour mettre l'aiguille dans un parfait équilibre, quelque inclinaiſon qu'on lui donne.

Pour plus grand ſuccès, on pourra encore affermir les deux cylindres à une même piece, qui, par ſon propre poids, ſe mette toujours dans une même ſituation par rapport à l'horiſon, & retienne les cylindres dans leur ſituation verticale, & qu'on puiſſe en même tems tourner autour d'un axe vertical, pour mettre l'aiguille à peu près dans le méridien Magnétique.

§. 58. Cette maniere de ſe ſervir des Bouſſoles d'inclinaiſon ſur mer, ne ſçauroit manquer d'avoir de grands avantages ſur toutes les autres : ici les tourillons ne peuvent s'échapper; & cependant bien loin de perdre leur mobilité, ils peuvent ſe tourner ſans ſouffrir le moindre frottement. Car quand même les tourillons toucheront les bords des coupures *TS*, ou que les boules touchent les bords des cylindres, il n'y aura aucun frottement, parce

qu'il n'y a point de preſſion aux points d'attouchement : outre cela les ſurfaces du mercure ſont toujours horiſontales ; & comme on peut ſans inconvénient donner aux coupures aſſez de largeur, pour que les tourillons puiſſent ſe tourner horiſontalement de quelques degrés, on aura encore cet avantage, que l'aiguille ſe mettra d'elle-même entierement dans le méridien Magnétique, s'il eſt vrai que ce ſoit un méridien ; c'eſt-à-dire, quelque inclinaiſon qu'on donne à une aiguille aimantée, elle ſe mette toujours dans le même plan vertical, ce que je ne ſçache pas avoir encore été aſſez confirmé. Tous ces avantages ſubſiſtent même ſur terre, de ſorte que je ne crains point de recommander cette méthode, dans quelque ſituation qu'on ſe trouve.

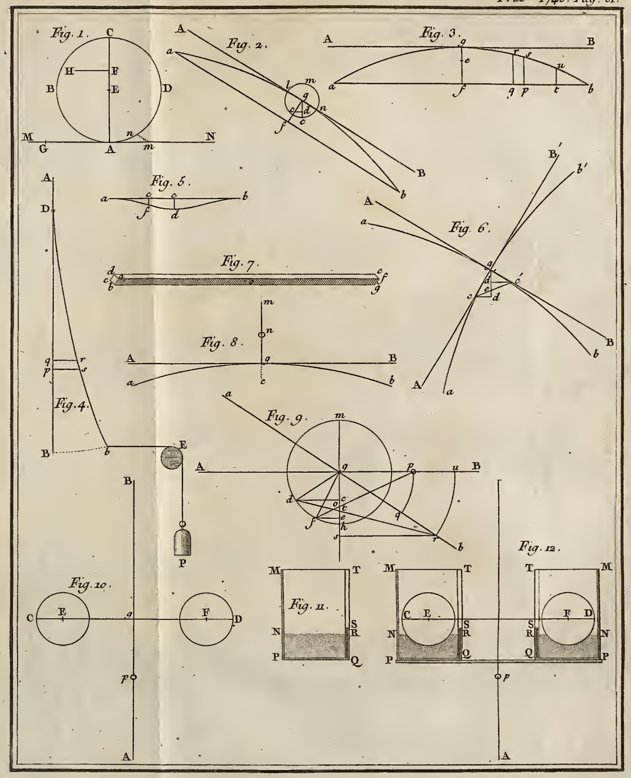
§. 59. Ces avantages tirés de la nature des fluides, nous en font encore eſpérer de plus grands, puiſqu'il n'eſt pas impoſſible de conſtruire des aiguilles uniformes & égales dans toute leur longeur, d'une même peſanteur ſpécifique avec un certain fluide. Une telle aiguille ſubmergée dans ce fluide, n'a point de peſanteur ; ne souffre ni frottement ni inflexion : & on ſçait que la vertu Magnétique ne laiſſe pas d'exercer toute ſa force ſur l'aiguille. On pourroit, par exemple, renfermer l'aiguille dans un tuyau de verre, & y laiſſer autant de vuide qu'il en faut, pour rendre le tout d'une peſanteur ſpécifique, égale à celle de l'eau. Il eſt vrai que l'on rencontre dans ces idées beaucoup d'inconvéniens, mais qui ſont accidentels, & non inſéparablement attachés à la nature de la choſe. Ce ſeroit un avantage infini, de détruire l'action de la peſanteur juſque dans chaque point de l'aiguille, ce qui rendroit les obſervations de l'inclinaiſon de la Bouſſole encore plus ſûres & plus préciſes, que ne ſont celles de la déclinaiſon ; & s'il eſt poſſible d'atteindre à ce dernier degré de perfection, c'eſt uniquement de ces nouveaux principes qu'on pourra l'eſpérer.

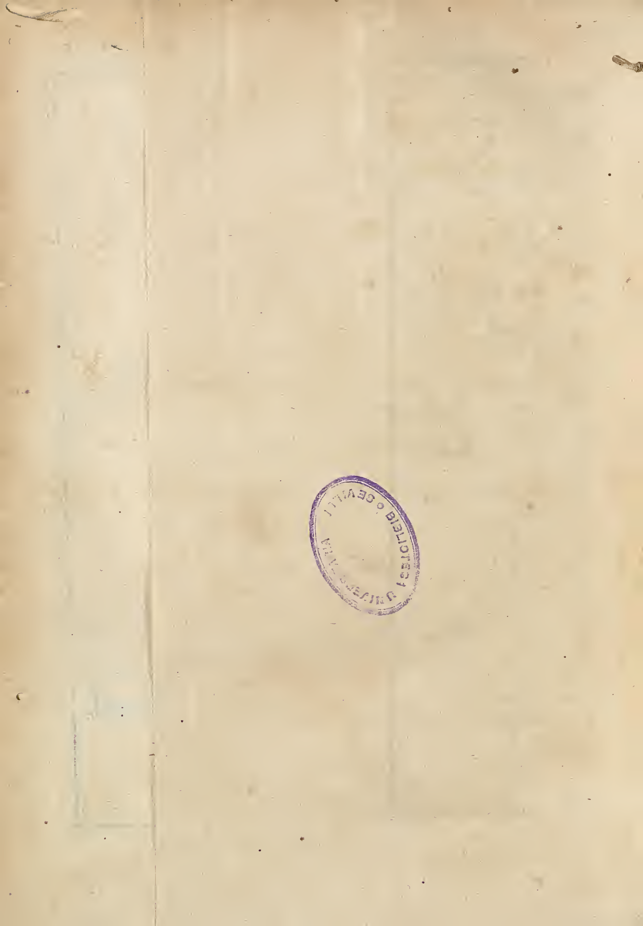
Au reſte, je ne me ſuis appliqué dans ces recherches,

qu'à la conſtruction des aiguilles aimantées, ſans rien dire de quelle maniere on doit appliquer le quart-de-cercle, pour prendre la meſure de l'angle que l'aiguille fait avec l'horiſon. J'ai cru devoir abandonner ce point, qui n'a aucune difficulté, à l'induſtrie & à l'adreſſe des ouvriers, pour ne point ſurcharger ce Mémoire.






Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.



DE OBSERVATIONE INCLINATIONIS MAGNETICÆ DISSERTATIO,

ILLUSTRISSIMÆ ACADEMIÆ REGIÆ
Scientiarum Parisinæ æquissimo judicio,
pro Anno 1743.
SUBMISSA.

Nihil turpius est Physico, quàm fieri sine causa quicquam dicere.

A. DD. EULER, Mathefeos Profeffore, è Societate
Academiæ Imperialis Petropolitanæ.



DE

DE OBSERVATIONE
INCLINATIONIS MAGNETICÆ
DISSERTATIO,
ILLUSTRISSIMÆ ACADEMIÆ REGIÆ Scientiarum Parisinæ æquissimo judicio pro Anno 1743.
SUBMISSA.

Nihil turpius est Physico, quàm fieri sine causa quicquam dicere.

§. 1. QUemadmodum omne corpus in se spectatum indifferens est tam ad motum quàm ad quietem, atque vi propriâ inertiæ in eo, quem tenet statu, perpetuò perseverat: sic quoque ad omnes situs recipiendos æqualiter est comparatum, neque unum quempiam situm magis quàm ullum alium per se affectat. Quare cùm mutatio status, sive motûs, sive quietis, certissimè vim quandam externam tanquam causam mutationis declaret, dubium planè est nullum, quin affectatio certi cujusdam sitûs à vi quâpiam externa proficiscatur. Sic quando videmus corpus pendulum in situ verticali acquiescere, gravitati causam tribuimus; ac, si corpus fluido innatans ad unum situm magis proclive observamus, quàm ad reliquos, præter gravitatem causam rectè in viribus aquæ partem corporis

ſubmerſam prementibus collocamus. Simili modo ſi corpus flumine abreptum, in uno maximè ſitu defertur, id non temerè fieri judicamus, ſed in hoc quoque ſitu æquilibrii quandam ſpeciem agnoſcimus.

§. 2. In Magnete autem omninò duplicem effectum à viribus externis oriundum deprehendimus; non ſolùm enim alius Magnes ab alio ac ferro attrahitur, verùm etiam ad omnes ſitus, in quibus quidem ſuſpenſus per gravitatem acquieſcere poſſet, minimè indifferens reperitur: hæcque proprietas poſterior adeò cernitur, cùm prioris ne veſtigium quidem animadvertere licet. Niſi enim Magnes in vicinia alterius Magnetis vel ferri verſetur, nullum prorſus conatum ſingularem de loco, quem occupat, recedendi percipimus. Interim tamen non inſtar reliquorum corporum in quovis ſitu perſiſtere valet; ſed unum perpetuò præ reliquis, ſi ſibi permittetur, eligit, in quo conſiſtat: in hocque ſitu tam pertinaciter hæret, ut quamvis vi ex eo deturbetur, ſe tamen ſponte in eum recipiat. Quod phænomenum eò magis eſt notatu dignum, quòd præter Magnetem, nullum aliud adhuc inventum ſit corpus, quod ſimili modo certum aliquem ſitum affectaret.

§. 3. Quamvis hæc conſtans directio Magneti ſit propria, tamen faciliùs ac promtiùs obſervatur in acu chalybea, cui ſimilis indoles per affrictionem ad Magnetem eſt inducta. Plerumque enim tam moles Magnetis, quàm ejus figura impediunt, quominùs tam citò ſe ad eam, quam intendit, poſitionem applicare queat; & prætereà eadem impedimenta ſunt in cauſa ut Magnes non tam commodè ſuſpendi, nec per ſuſpenſionem omnis effectus à gravitate oriundus tam facilè tolli queat, ſicut præſens inſtitutum omninò efflagitat. Contrà verò acus omni adhibitâ diligentiâ ita poteſt fabricari, ut cunctis his incommodis careat; primò enim in lineam rectam extenditur, ut ſitus, quem tenet, faciliùs & diſtinctiùs dignoſci queat. Deinde gracilis redditur, quò promtior evadat ad motum recipiendum; tum verò ita paratur, ut commodè ſuſpendi & ab omni effectu

gravitatis liberari poſſit. Quibus rebus fit, ut acus Magnetica, etiamſi non aliâ ac ipſe Magnes gaudeat virtute, multò tamen aptior ſit ad determinatam illam directionem à Magnete intentam patefaciendam. Cùm igitur in hac Diſſertatione conſtituerim in modum facillimum inquirere, quò illa directio exactiſſimè cognoſci queat, loco Magnetis perpetuò acum Magneticam ſubſtituam: neque de ipſo Magnete aliter ſermo incidet, niſi quatenus eſt fons iſtius virtutis directricis in acu.

§. 4. Cùm igitur acus Magnetica certum quendam ſitum, in quo acquieſcat, requirat, atque in alium ſitum depulſa ſponte ſuâ in eundem revertatur, cauſam eſſe oportet externam, quæ acum in iſtum ſitum impellat, in eoque contineat. Tametſi autem Illuſtriſſima Academia Scientiarum hoc tempore non cauſam hujus phænomeni, ſed tantùm idoneam id ipſum obſervandi penitùſque cognoſcendi methodum poſtulet, tamen ſine ullâ cognitione cauſæ nihil certi in hoc negotio præſtari poſſe videtur. Ignoratâ enim prorsùs causâ hujus directionis, impedimenta, quæ obſervationem turbare valeant, nullo modo cognoſci, multò verò minùs evitari poterunt. Neque verò ad hoc inſtitutum neceſſe eſt, ut vera hujus proprietatis Magneticæ cauſa perſpiciatur, quam diſcuſſionem mihi in ſequentem annum reſervo; ſed ſufficiet cauſam qualemcunque, dummodo iſti ſoli phænomeno producendo par ſit in animo fingere, ut habeamus, quorsùm noſtras ideas dirigamus, undeque ſubſidia ad impedimenta ſuperanda petamus. Interim tamen non vereor, ne tali causâ generali fingendâ nimis longè à veritate receſſero.

§. 5. Omninò igitur ſtatuo cunctas Magnetis proprietates à materiâ quâdam ſubtili proficiſci, quæ motu ſuo tam attractionis, quàm directionis phænomena producat. Hæc itaque materia ſubtilis undique diſperſa in quovis loco certam ac determinatam tenebit directionem, ſecundùm quam moveatur. Materia porrò iſthæc in nulla alia corpora præter Magnetem & ferrum virtute Magneticâ imbutum agit:

dum autem in Magnetem pluribus modis agit, hic eum tantùm effectum consideraſſe ſufficiet, quo cùm ipſe Magnes, tùm præcipuè acus Magnetica, ſecundùm eam ipſam directionem diſponuntur, in quâ materia illa ſubtilis movetur; hocque tam pertinaciter, ut eadem acûs cuſpis perpetuò ad eandem plagam dirigatur, neque ambæ extremitates utcunque ſimiles inter ſe commutari queant. Tum verò ita comparata eſt hæc materia ſubtilis, ut niſi corpus aliud Magneticum in vicinia acûs reperiatur, nullum alium effectum in acum exerat præter directionem ſecundùm motum ſuum; hincque acus, etſi virtute Magneticâ imbuta, ceſſat eſſe in æquilibrio, in quo antè quieſcebat, tamen prorsùs non fit gravior, ſed idem quod antè pondus retinet. Denique acus, ſi ſemel fuerit directionem materiæ ſubtilis nacta, non ſolùm in ea perſiſtit, ſed etiam ſi inde declinetur, in eundem ſitum ſe convertit. Generalia hæc ſunt phænomena potiùs quàm concluſiones ex causâ derivatæ; ex quo eò minus erit metuendum, ne hæc ſecutus in errores delabar.

§. 6. Quando igitur directionem acûs Magneticæ explorare volumus, nihil aliud conamur, niſi ut directio motûs, quò materia ſubtilis Magnetica circumfertur, in dato loco accuratè definiatur. Atque viciſſim ſi directio acûs Magneticæ, omni adhibitâ circumſpectione pòſt exponendâ, obſervetur, eo ipſo innoteſcet directio cursûs, quem Magnetica materia tenet eò tempore eoque in loco. Obſervationes enim adhuc inſtitutæ luculenter evincunt curſum materiæ Magneticæ, cui phænomena Magnetis tribuimus, non ſolùm in diverſis locis eſſe diverſum, ſed etiam in eodem locò labente tempore ſenſibiliter immutari. Ceterùm ſatis notum eſt plures acus Magneticas eodem loco eodemque tempore admodùm diverſas poſitiones recipere, præcipuè ſi inclinatio ſpectetur; quæ diverſitas certè vitium in acubus potiùs arguit, quàm inconſtantiam tantam in motu materiæ ſubtilis. Quamobrem ſi inclinatio Magnetis inveſtigatur, non quantum data acus inclinet quæritur, quod

esset facillimum, sed in hoc quæstionis cardo versatur, ut ea inclinatio definiatur quam habitura esset acus omni vitio carens; vel quod eodem redit, ut modus acus Magneticas omni vitio carentes fabricandi indicetur. Atque in hunc sensum quæstionem ab Illustrissima Academia propositam interpretandam esse arbitror.

§. 7. Habebit ergò materia ista subtilis Magnetica in dato loco datoque tempore certam ac determinatam motûs sui directionem, quæ quomodò per observationes explorari debeat, hìc me ostendere debere intelligo, si quidem quæstioni ab Academiâ Regiâ propositæ satisfacere velim. Quæcunque autem sit ista directio, primùm videndum est quo pacto ea, quibusque mensuris modo intelligibili describi queat, ut quisque ex descriptione distinctam sibi ideam ejus directionis formare possit. Commodissimè verò hoc more solito fieri posse videtur, dum primùm superficiem planam constantem, horizontem scilicet, assumimus, atque inclinationem ejus directionis ad hoc planum assignamus, quæ mensuratur angulo, quem ista directio in plano verticali sumta cum horizonte constituit; iste ergò angulus erit illa ipsa Magnetis inclinatio, quæ quæritur. Deinde cognitâ inclinatione, positio plani verticalis per directionem describendam transeuntis super horizonte debet designari; in quo negotio, cùm horizon soleat secundùm plagas mundi cardinales dividi, nulla omninò inest difficultas. Præcipua autem horizontis divisio fit per Lineam Meridianam, & angulus, quo ille circulus verticalis ab hac lineâ distat, vocatur declinatio Magnetis. Cognitis ergò cùm declinatione tùm inclinatione acûs Magneticæ omni numero absolutæ, directio cursûs materiæ Magneticæ innotescet.

§. 8. Quoniam vitia, quibus acus Magneticæ sunt obnoxiæ, inclinationem potissimùm turbant, declinationem verò non admodùm afficiunt, multò difficilior quoque est observatu inclinatio, quàm declinatio. Proficiscuntur autem hæc incommoda præcipuè ab acûs gravitate naturali; quæ

utì declinationem minimè turbat, eò quòd ejus directio ad horizontem est perpendicularis, ita tota impenditur ad inclinationem alterandam. Quamobrem maxima cura in hoc collocari debebit, ut effectus à gravitate oriundi in observatione inclinationis Magneticæ omninò destruantur atque exuantur. Perspicuum autem est omnem operam quæ ad hæc impedimenta evitanda impendetur, fore irritam, nisi priùs quantum & quot modis gravitas inclinationem Magnetis naturalem perturbare valeat, distinctè cognoverimus. In hac disquisitione plures occurrent quæstiones cùm in se spectatæ utiles & notatu dignæ, tùm verò perturbationes à gravitate ortas ita clarè demonstrantes, ut deinceps multò faciliùs sit futurum, acum Magneticam ita adstruere, & ad usum accommodare, ut situ suo veram materiæ subtilis Magneticæ directionem exhibeat.

Fig. I. §. 9. Si gravitas omninò abesset, seu acus in fluido ejusdem secum gravitatis specificæ volitaret, tum dubium est nullum, quin acus statim sese in situm cum directione materiæ Magneticæ congruentem sit compositura; quam directionem acûs hoc modo effici conficiamus. Sit linea ba directio motûs materiæ Magneticæ; acus autem versetur in situ ACB, ita ut à directione Magneticâ aberret angulo ACa, seu BCb. Ejusmodi igitur acum sollicitans statui debet, à quâ centrum gravitatis acûs C, non de loco suo moveatur. Statui igitur oportet acum in duobus punctis A & B à centro gravitatis C æquè remotis, à viribus æqualibus sollicitari in directionibus oppositis AP, BQ, quas ad acûs longitudinem normales assumo, quoniam ab iis eatenùs tantùm in acu motus generari potest, quatenùs sunt ad ipsam normales. Ab his igitur duabus viribus acus circa centrum gravitatis C immotum convertetur, ac versùs situm ab redigetur. Quoniam autem, cùm acus fuerit in situm ab adducta, vires penitùs cessare debent, necesse est ut quantitas harum virium ab angulo ACa ita pendeat, ut evanescente angulo ipsæ vires evanescant. Apparebit autem phænomenis satis propè satisfieri, si istæ vires finibus

anguli ACa proportionales ſtatuantur, tum enim primùm oſcillationes minimæ, quas acus circa ſitum quietis ab peraget, erunt iſochronæ; & deinde acus in eundem ſitum ab redigetur, etiamſi angulus ACa major fuerit recto; quas conditiones experientia poſtulat.

§. 10. Ex hac hypotheſi virium Magneticarum definiri poterit motus, quo acus ex quolibet ſitu in ſitum naturalem ab pervenit, atque ſucceſſivè acceleratur. Gravitate igitur adhuc ſepoſitâ, ſit ſemiſſis longitudinis acûs $AC = BC = a$: maſſa autem totius acûs ſit $= M$, quam per totam longitudinem æquabiliter diſtributam aſſumo. Pervenerit jam acus ex ſitu obliquo quocunque in ſitum ACB, quem figura exhibet; ac ponatur angulus $ACa = z$, ejuſque ſinus $= x$, ſinu toto poſito $= 1$, ita ut ſit $dz = \frac{dx}{\surd(1-xx)}$. Nunc autem habeant extremitates A & B tantam circa C celeritatem quæ debeatur altitudini v. Sint jam vires AP, & BQ, quibus acus ſollicitatur $= px$, ita ut p illa vis, qua utraque acûs extremitas urgetur, cùm acûs directioni ab normaliter inſiſtit. His poſitis, erit $dv = \frac{-6px}{M} \cdot a\,dz = \frac{-6p}{M} \cdot \frac{a\,x\,dx}{\surd(1-xx)}$: hincque integrando, $v = \frac{6ap}{M}\left(C + \surd(1-xx)\right)$. Inceperit acus motum, cùm eſſet ad ba inclinata angulo, cujus coſinus $= n$, ſitque anguli ACa coſinus $= \surd(1-xx) = y$, erit $v = \frac{6ap}{M}(y-n.)$ Quando ergò acus in ſitum ab appellet, celeritas ejus in extremitatibus debita erit altitudini $v = \frac{6ap}{M}(1-n)$; ipſa ergò hæc celeritas erit ut ſinus dimidii anguli, quem acus deſcripſit.

§. 11. Quòd ſi jam gravitas inſuper accedat, quoniam per eam corpora ſibi relicta nunquam ad quietem pervenire poſſunt, ſed perpetuò deſcendunt, neceſſe eſt ut per ſuſpenſionem corpora retineantur, ne nunquam moveri deſinant. Quò igitur acus Magnetica gravis tandem acquieſcat, neceſſe eſt ut ea ſuſpendatur, vel fulcro imponatur;

hocque modo ſemper dabitur ſitus in quo acus quieſcet: ad quem definiendum trium rerum rationem haberi oportebit; primò ſcilicet gravitatis naturalis, quâ acus ad motum cietur, deinde vis illius Magneticæ acum ſollicitantis, ac tertiò ipſa ſuſpenſionis ratio erit habenda. Cùm autem ſuſpenſio innumerabilibus modis pro arbitratu noſtro poſſit variari, dum binæ illæ vires non ſunt in noſtra poteſtate poſitæ, à ſuſpenſione potiſſimùm ſitus, in quâ acus æquilibratur, pendebit. Suſpenſio nimirum efficiet, ut ſitus acûs æquilibrii modo magis, modo minùs à ſitu, quem materia ſubtilis Magnetica ipſi inducere annititur, diſſentiat: hincque fit ut diverſæ acus inclinatoriæ tantopere à ſe invicem diſcrepent. Quamobrem cùm acus Magnetica ita inſtructa requiratur, ut ejus ſitus æquilibrii prorsùs non differat à directione materiæ Magneticæ, ejuſmodi ſuſpenſionem inveſtigari oportebit in quâ gravitas effectum vis Magneticæ nullo modo perturbet.

Fig. I. §. 12. Sit primùm acus omnis virtutis Magneticæ expers, eaque more ſolito ita ſuſpendatur, ut ejus centro gravitatis exiſtente in C, ea mobilis reddatur circa punctum fixum O ſupra centrum gravitatis C poſitum. Hic igitur manifeſtum eſt, ſi intervallum OC fuerit normale ad longitudinem acûs AB; tum acum in ſitu horizontali non ſolùm eſſe quieturam, ſed etiam inde deturbatam eodem ſponte ſe eſſe recepturam: ſin autem intervallum OC evaneſcat, tum acum ad omnes omninò ſitus fore indifferentem. Impoſita ſit acus, utì fieri ſolet, cuſpidi immobili DO, ut ſuper ea liberè in gyrum agi, quaſi circa axem verticalem queat; atque gravitas hunc motum horizontalem prorsùs non afficiet, illum nec impediendo nec adjuvando. Quamobrem ſi ad gravitatem accedat virtus Magnetica quæ conabitur acum, cùm in eum circulum verticalem, in quo directio Magnetica verſatur, motu horizontali perducere, tum verò acum directioni Magneticæ convenienter ad horizontem inclinare, perſpicuum eſt priorem effectum à gravitate nullo modo turbatum iri. Ideoque acus motu

motu horizontali in eum circulum verticalem, in quo movetur materia Magnetica, adducetur; hocque pacto veram Magnetis declinationem monstrabit gravitate non obstante.

§. 13. Longè aliter autem inclinationis ratio est comparata, quippe quæ ab acûs gravitate exposito modo suspensæ plurimùm afficitur atque alteratur. Quod ut clariùs appareat, ponamus acum horisontali motu jam in eum circulum verticalem esse perductam, quem declinatio requirit, sitque ab directio materiæ Magneticæ, in quam acus se reciperet, si nihil obstaret. Cùm igitur acus utrinque ad hanc positionem ab sollicitetur, à gravitate autem in situ horizontali contineatur, revera aliquantum inclinabitur, situmque quempiam medium inter horizontalem, quem gravitas postulat, & situm ab quem materia Magnetica desiderat, eliget. Sit AB iste acûs situs, quem utrâque vi sollicitata occupabit, C ejus centrum gravitatis in mediâ longitudine positum, ac ponatur $AC = BC = a$. Porrò sit distantia poli O circa quem acus est mobilis, à centro gravitatis C, nempe intervallum $OC = c$, quod utì assumsimus ad longitudinem AB sit normale. Ex C ducatur recta verticalis CM, quæ simul pondus acûs, quod sit $= M$, exprimat; ac ponatur angulus $bCM = \alpha$ quem directio Magnetica ab cum verticali constituit: cujus anguli sit sinus $= m$, & cosinus $= n$, existente sinu toto $= 1$. Hanc autem directionem ab, unà cum acûs structurâ hìc tanquam res cognitas assumo. Fig. III.

§. 14. Ex his definiri poterit situs æquilibrii AB, in quo acus acquiescet: hunc in finem ponatur angulus $ACa = z$, ejus sinus $= x$, & cosinus $= y$. Vis igitur quâ acus in utraque extremitate A & B, normaliter ad sui longitudinem situm ab versùs urgebitur, erit $= px$, denotante p vim illam, quâ acus, si ad ab normaliter est posita, sollicitatur. In æquilibrio ergò nunc esse debent hæ duæ vires Aa, Bb, quarum utraque est $= px$, cum vi gravitatis $CM = M$: quoniam $CO = c$, normalis est ad AB, ideoque parallela

directionibus virium px, erit uniuscujusque momentum $= pax$, & utriusque momentum junctim $= 2pax$, quia utrumque ad acum in eandem plagam gyrandam tendit. Huic itaque momento æquale esse debet momentum à vi $CM = M$ ortum respectu poli O, quod est $= M.CO$, sin. $MCO = M.CO$. cos. MCB. At est $CO = c$, & cos. $MCB =$ cos. MCb. cos. $BCb -$ sin. MCb. sin. $BCb = ny - mx$: unde momentum à gravitate ortum erit $= Mc(ny - mx)$, quod æquale est momento $2pax$. Habebitur ergò ista æquatio $2pax = Mncy - Mmcx$, quæ dat $\frac{x}{y} = \frac{Mnc}{Mmc + 2pa}$, qui valor exprimet tangentem anguli quæsiti ACa, seu BCb. Ad hunc ergò angulum acus in circulo verticali, per directionem Magneticam transeunte inclinabitur, si mobilis fuerit circa axem horizontalem per punctum O transeuntem, & ad circulum illum verticalem normalem.

§. 15. In hac disquisitione assumsi punctum O circa quod acus est mobilis ita esse situm, ut ejus distantia OC, ad longitudinem acûs esset normalis. Quo autem iste calculus latiùs pateat, ponam hoc intervallum OC utcunque
Fig. IV. esse ad longitudinem AB inclinatum. Manente ergo distantiâ $OC = c$, sit anguli ACO sinus $= \mu$, cosinus $= \nu$, & ex O in AC demissum perpendiculum Oc erit $= \mu c$, & spatium $Cc = \nu c$. Sit ut antè $AC = BC = a$; pondus acûs $CM = M$, anguli MCb sinus $= m$ cosinus $= n$: anguli verò quæsiti BCb sinus sit $= x$, & cosinus $= y$. Jam cùm acus in A & B sollicitetur vi $= px$; erit momentum vis in A applicatæ $= px(a - \nu c)$, & vis in B applicatæ momentum $= px(a + \nu c)$, ita ut summa horum momentorum sit ut antè $= 2pax$. Deinde verò quia est angulus $MCO = MCb + BCb + BCO = MCb + BCb + COc +$ recto, erit sinus $MCO =$ cos. $(MCb + BCb + COc) = (\mu n - \nu m)y - (\mu m + \nu n)x$, unde momentum ponderis est $Mc(\mu n - \nu m)y - Mc(\mu m + \nu n)x$, quod æquale esse debet momento virium Magneticarum

contrà nitenti $2pax$. Hinc reperietur anguli quæſiti ACa, ſeu BCb tangens $\frac{x}{y} = \frac{Mc(\mu n - \nu m)}{Mc(\mu m + \nu n) + 2pa}$. Hæc formula latiſſimè patet, ac præcedentem in ſe complectitur, ſi ponatur $\mu = 1$, & $\nu = 0$, quo caſu quippe fit angulus ACO rectus.

§. 16. Hinc patet duobus caſibus fieri poſſe ut angulus BCb evaneſcat, atque acus ſeſe in ipſam materiæ Magneticæ directionem ab componat, quorum primus eſt, ſi fuerit diſtantia $OC = c = 0$; hoc eſt ſi acus ex ipſo ſui centro gravitatis C ſuſpendatur. Alter caſus locum habet, ſi fuerit $\mu n - \nu m = 0$; at $\mu n - \nu m$ exprimit coſinum ſummæ angulorum $MCb + COc$. Quòd ſi ergo ſumma horum duorum angulorum faciat angulum rectum, quod evenit, ſi fiat angulus MCb = angulo ACO, tum acus in æquilibrio conſtituta ipſam directionem Magneticam ab indicabit, fietque hoc ſtatu recta CO verticalis. Si igitur cognita eſſet directio Magnetica ab, facilè ejuſmodi acus confici poſſet quæ ſuſpenſa cum ipsâ directione Magneticâ congrueret, etiamſi axis ſuſpenſionis O non per centrum gravitatis C tranſeat, dummodo punctum O ita accipiatur, ut angulus ACO æqualis fiat angulo MCb quem directio Magnetica cum recta verticali CM facit. Hocque eò faciliùs præſtari poſſet, etiamſi locus centri gravitatis C non accuratiſſimè conſtet, quod intervallum OC pro lubitu aſſumi poteſt; hoc ſcilicet eouſque augeri poterit, ut error à ſitu centri gravitatis non exactiſſimè cognito oriundus prorsùs fiat inſenſibilis.

§. 17. Ex hoc autem modo inclinationem Magneticam explorandi parum commodè nanciſcimus, cùm ante acûs parationem ipſam directionem Magneticam noſſe oporteat. Interim tamen videatur pluribus tentaminibus ſucceſſivè inſtituendis vera inclinatio Magnetis cognoſci poſſe per angulum ACO, tum enim ſi angulus ACO æqualis ſit angulo quæſito MCb, linea OC in æquilibrio fiat verticalis, in quem ſitum pervenire nequit, niſi illi anguli inter

ſe ſint æquales; per plura tentamina tandem ille angulus ACO indagari poterit, qui rectæ CO ſitum verticalem conciliet. Quæ quamvis eſſe poſſit via in ſe certa, tamen ad uſum practicum nimis foret craſſa, atque veram directionem Magneticam vix propiùs indicaret, quàm per acus ſolitas fieri ſolet. Ponamus enim angulum MCb prope jam innotuiſſe, atque angulum ACO tantum ſtatui ut expreſſio $\mu n - \nu m$ fiat exigua ſatis, ſive nihilo major, ſive minor: priori caſu habebit $\frac{x}{y}$ valorem affirmativum, poſteriori negativum quoque haud magnum: unde ſinus anguli $ACa = x$ erit admodum parvus. Hoc caſu utique linea OC cum verticali CM non erit in directum poſita, ſed angulum cum ea conſtituet, cujus ſinus erit $= \frac{2pax}{Mc}$: hic autem angulus ob fractionem $\frac{2p}{M}$ quàm minimam uti poſtea videbimus, tam erit exiguus, ut planè non poſſit eſſe perceptibilis. Neque verò intervallum c præ a tantopere diminuere licebit, ut illa diminutio reſarciatur. Hoc ergo pacto fit, ut directionem Magneticam propemodum quidem, at omnino non exactè cognoſcere valeamus.

§. 18. Interim tamen hanc viam directionem Magneticam explorandi non prorsùs rejiciendam eſſe arbitror, cùm iis difficultatibus non ſit obnoxia, quibus altera ſuſpenſionem è centro gravitatis poſtulans, urgetur; tametſi equidem eam nondum ad hunc perfectionis gradum perduxerim, ut ad uſum practicum transferre audeam. At venient fortaſſe tempora, quibus hinc multò majores fructus percipere licebit, cùm ſcilicet omni accuratione etiam minimi anguli diſcerni & menſurari poterunt. Cognito enim angulo ACO, ſuſpendatur acus in meridiano Magnetico ex axe horizontali O, & in ſtatu æquilibrii diſpiciatur, utrum recta OC in N producta à verticali CM Boream B an Auſtrum A versùs declinet? nam ſi declinatio hæc ad Auſtrum vergat, indicio erit angulum MCb minorem eſſe angulo ACO; contrà verò, ſi OC producta Boream B

versùs declinet à verticali *CM*, conſtabit angulum *ACO* minorem eſſe angulo *MCb*. Priori caſu inclinatio ab acu monſtrata nimis erit parva, poſteriore verò nimis magna. Atque hoc modo ſi angulorum minimorum concedatur dimenſio, poſt aliquot tentamina angulum *ACO* ita formare licebit, ut rectæ *CN* ſitum verticalem, ipſique acui directionem Magneticam veram conciliet. Verumtamen ob gravia obſtacula, quæ nondum è medio tollere poſſum, hanc methodum tantùm mihi indicaſſe ſufficit, campumque aperuiſſe aliis majori curâ colendum.

§. 19. Revertor igitur ad caſum alterum, quo poſitio acûs cum directione Magnetica congruit: neque iſta convenientia à gravitate naturali perturbatur, utì fit in reliquis ſuſpenſionis caſibus omnibus. Præſtat autem iſte alter caſus præ modo memorato hoc potiſſimum, quòd acûs præparatio cognitionem inclinationis Magneticæ in anteceſſum non requirat, ſed quantacunque fuerit inclinatio, acûs ſtructura eadem maneat: ex quo hoc naſcitur commodum maximi momenti, ut ope acûs ad hunc modum præparatæ in omni loco omnique tempore inclinatio eâdem operâ poſſit explorari. Quam ob cauſam hunc modum præcedenti tantopere anteferendum eſſe cenſeo, ut omne ſtudium ad eum ſolum excolendum ſim adhibiturus. Requiritur ergò hoc maximè, ut acus, ex ipſo ſui centro gravitatis quàm accuratiſſimè ſuſpendatur, neque in hoc vel minimus error committatur. Quod opus cùm ſit difficillimum, tum eò magis erit elaborandum, ut omnia impedimenta cognôſcamus, iiſque feliciter occurramus. Cognito autem centro gravitatis, acus ita axe perfectiſſimè tornato erit transfigenda, ut centrum gravitatis in medium axem incidat, ipſeque axis ſimul ad longitudinem acûs ſit exactiſſimè normalis. Neque enim in inclinatione indaganda acus ſtylo imponi poteſt, utì fieri ſolet, quando declinatio obſervatur; ſed acum circa axem mobilem efficere oportet, quò liberiùs ad quemvis angulum inclinari queat

§. 20. Ex formulis ſuprà ope calculi erutis ſatis luculenter

perſpicitur, quanta aberratio inclinationis acûs à verâ directione Magneticâ naſcatur, ſi centrum axis, ſeu punctum ſuſpenſionis O, non in centrum gravitatis C incidat. Imprimis autem notandum eſt errorem quàm minimum in ſuſpenſione commiſſum perquàm notabilem aberrationem in acûs inclinationem importare; eò quòd vis Magnetica p præ

Fig. V. pondere acûs M ferè evaneſcit. Idem igitur hoc clariùs apparebit, ſi quantitatem abſolutam vis Magneticæ p per experimenta determinavero, quod ſequenti modo ſatis commodè fieri poterit. Ponamus igitur acum AB, ex ipſo gravitatis centro C eſſe ſuſpenſam, ejuſque axem normalem eſſe ad meridianum Magneticum, in quo ab ſit vera directio Magnetica, quæ cum directione verticali CM faciat angulum MCb, cujus ſinus ſit $= m$, coſinus $= n$. Acus igitur hæc ſine mora ſeſe in ſitum ab recipiet. Poterit autem extremitati A ejuſmodi ponduſculum imponi, quo acus in ſitu horizontali AB conſervetur. Sit hoc ponduſculum per experientiam exploratum $= q$; & cùm vis Magneticæ momentum hoc caſu ſit $= 2pna$, poſito $AC = BC = a$, erit $qa = 2pna$, ideoque $p = \frac{q}{2n}$.

§. 21. Ex cognito ergò tum angulo inclinationis Magneticæ BCb, tum ponduſculo caudæ A imponendo q, ut acus in ſitu horizontali perſiſtat, ſtatim reperitur vis Magnetica abſoluta p pro data acu. Muſchenbroeckius autem obſervavit acui, 4 ped. longæ & ponderis 6105 granorum, quæ inclinationem habebat 67°, ita ut angulus bCM ſit 23° in cauda A imponi debuiſſe ponduſculum $1\frac{1}{2}$ granorum, quo acus in ſitu horizontali perſeveraret. Fiet ergo ob $q = 1\frac{1}{2}$ gran. & $n = \text{coſ. } 23^\circ = \text{ſin. } 67^\circ$, vis Magnetica $p = \frac{81}{100}$ gran. quæ vis reſpectu gravitatis acûs 6105 gran. eſt ferè

Fig. IV. imperceptibilis. Aſſumto hoc pro p valore, ſi ponamus eandem acum 4 pedum vitio tantillo laborare, ut centrum axis O diſtet à centro gravitatis C intervallo $OC = c$, lineamque OC ad acum Auſtrum versùs A inclinatam eſſe angulo OCA cujus ſinus $= \mu$, coſinus $= \nu$, veræque Magneticæ

inclinationis MCb ſinum eſſe $= m$, coſinum $= n$; his poſitis, erit tangens anguli aberrationis $BCb = \frac{6105c(\mu n - \nu m)}{6105c(\mu m + \nu n) + 3259}$, uno pede per 1000 ſcrupula expreſſo. Sit angulus ACO rectus, & verus angulus MCb ſumatur 23°, prodibit tangens anguli $BCb = \frac{5620c}{2385c + 3259}$: unde apparet ſi error OC unicam tantùm partem milleſimam pedis adæquet, ut ſit $c = 1$, angulum BCb fore 45°; &, ſi OC decies ſit minus, errorem tamen in angulo BCb aſcendere ad 9°. Quibus perpenſis, non ampliùs mirari debemus ſummum diſſenſum, qui in obſervationibus circa inclinationem acûs Magneticæ inſtitutis, deprehenditur.

§. 22. Ex his ſimul intelligitur, quàm difficile ſit acum Magneticam præparare, quæ veram materiæ Magneticæ directionem oſtendat, cùm minimus error è non accuratâ centri gravitatis cum puncto ſuſpenſionis congruentiâ ortus ſatis ingentem declinationem poſitionis acûs à directione Magneticâ pariat. Hoc certè Muſchenbroeckius cùm in inſtrumentis conficiendis, tum in experimentis inſtituendis ſolertiſſimus, ſufficienter eſt expertus. Tanto enim ſtudio tres acus inclinatorias diverſæ longitudinis elaboravit, ut neget unquam tantam diligentiam in hoc negotio fuiſſe adhibitam; interim tamen confitetur has acus magnoperè à ſe invicem diſcrepaſſe, dum enim longiſſima 4 pedum inclinationem monſtraret 67°; altera $3\frac{1}{2}$ pedes longa ad angulum 72° inclinabatur; tertia verò bipedalis tantùm ad 60° infra horizontem deprimebatur; etiamſi omnes hæ acus eidem Magneti eſſent affrictæ. Quanquam autem iſte Auctor arbitratur hanc differentiam à longitudinis diverſitate proficiſci; tamen hoc minimè probat, dum ne duas quidem acus æquè longas & æqualiter inclinantes exhibere poteſt. Quin potiùs veram hujus diſſensûs cauſam ex allatis clariſſimè perſpici autumo; indeque rectè mihi quidem concludere videor, eo modo, quem Muſchenbroeckius proponit, majorem conſenſum in variis acubus ſive ejuſdem ſive diverſæ longitudinis ne expectari quidem poſſe, niſi

fortè in duabus acubus casu errores se invicem adæquent.

§. 23. Quoniam hìc quantitatem virtutis Magneticæ, quâ datâ acus dirigitur, ex eo experimento definire licuit, quo ponduſculum caudæ in noſtris quidem regionibus imponendum fuit obſervatum, quod acum in ſitu horizontali continere valeat, optarim, ut ſimili modo ponduſcula caudæ imponenda fuiſſent obſervata, quæ acum in quovis alio ſitu continere valerent. Per hujuſmodi enim experimenta ſimul hypotheſis, quâ aſſumſi vim directricem acûs Magneticæ eſſe in ratione ſinuum angulorum, quibus ſitus acûs à ſitu intento diſtet, explorari, hocque vel confirmari poſſet vel refutari. Talia autem experimenta cùm nuſquam inveni, tùm ipſe inſtituere non ſuſtineo. Cùm enim ad hoc acus inclinatoria requiratur omnibus numeris abſoluta, quæ ſibi relicta ſine ullâ aberratione in directione materiæ acquieſcat; quali accuratiſſimus Muſchenbroeckius omni adhibitâ induſtriâ vix ac ne vix quidem eſt potitus; fateor me ad tale negotium ſuſcipiendum minimè eſſe paratum. Quamvis enim modo pòſt explicando acum accuratiſſimam fabricari poſſe planè confidam, tamen, cùm ipſe non ſim artifex, tùm ejuſmodi artifices experti, quales hoc opus requirit, non ſunt in poteſtate. Neque verò ſive hæc hypotheſis vera ſit, ſive falſa, multùm intereſt; cùm fabrica acûs Magneticæ pòſt tradenda ab hac hypotheſi minimè pendeat, ſed per eam tantùm non parùm illuſtretur, ac obſtacula clariùs ob oculos ponantur.

§. 24. At verò video aliam inſuper patere viam iſtam hypotheſin examinandi, per quam non ſolùm pro datâ acûs à ſitu naturali deviatione vis directrix definiri, ſed etiam pro infinitis aliis intermediis ſimul cognoſci queat. Hoc ſcilicet efficietur, ſi ad examen revocentur oſcillationes, quas acus inclinatoria, ſi è ſitu naturali removeatur, eundo ac redeundo inſtar penduli abſolvit, donec tandem omni motu conſumpto in ſitu naturali directionis Magneticæ acquieſcat. Hujuſmodi autem experimenta plurima recenſentur in citatâ Muſchenbroeckii diſſertatione de Magnete,

quæ

quæ idcircò commodè ad hunc usum transferri possunt. Cùm enim ex duratione oscillationum non solùm vis illas producens, sed etiam quemadmodùm ea in quavis elongatione à situ quietis sit comparata, colligi queat, ex ejusmodi experimentis ingens accedet subsidium ad naturam virtutis Magneticæ propiùs cognoscendam. Primùm igitur investigabo, cujusmodi oscillationes vi hypotheseos meæ in qualibet acu inclinatoriâ oriri debeant; ac deinceps motum oscillatorium observatum cum isthoc hypothetico comparabo, ut appareat, quantum experientia ab hypothesi abhorreat. Præterea verò vires ex oscillationibus conclusæ examinari poterunt, quantum cum vi antè definita consentiant; sicque hypothesis ad veritatem propiùs adduci poterit.

§. 25. Sit igitur AB acus inclinatoria summo studio elaborata, quæ ex centro gravitatis C suspensa in plano verticali secundùm directionem Magneticam constituto liberrimè circumagi queat. Quiescat primùm acus in situ ab qui cum directione Magneticâ perfectè congruat, tum verò ex hoc situ declinetur ad angulum α, cujus sinus ponatur $= m$, ex quo, cùm in A & B urgeatur viribus ad sui longitudinem normalibus, & æqualibus inter se, & sinui anguli α proportionalibus, mox versùs situm ab recedet, & pluribus instar penduli oscillationibus peractis tandem in ipso situ ab acquiescet. Durante hoc motu pervenerit in situm AB, qui à situ quietis ab distet angulo $ACa = z$, cujus sinus sit $= x$, in quo motum habeat ab versùs tantum ut extremitatum A & B celeritas debita sit altitudini v. Ponatur porrò ut antè, semissis longitudinis $AC = BC = a$; massâ acûs per totam longitudinem AB æqualiter distributâ $= M$, ita ut ejus momentum respectu axis C sit $= \frac{Maa}{3}$: & vis acum jam in utroque termino sollicitans ex hypothesi erit $= px$. Promoveatur acus per arculum infinitè parvum $-dz = \frac{-dx}{\sqrt{(1-xx)}}$, eritque acceleratio intereà nata dv

$= \frac{2pax}{\frac{1}{3}Maa} \cdot \frac{-aadx}{\sqrt{(1-xx)}} = \frac{-6pa}{M} \cdot \frac{xdx}{\sqrt{(1-xx)}}$, cujus integrale debito modo ex motûs initio temperatum erit $v = \frac{6pa}{M}\left(\sqrt{(1-xx)} - \sqrt{(1-mm)}\right)$, unde in quovis acûs situ ejus celeritas cognoſcitur. Durarent quidem hæ oſcillationes in æternum, niſi cùm aëris reſiſtentia, tum frictio eas continuò diminuerent, ac tandem prorsùs extinguerent.

§. 26. Angulus ergò z abſolvetur tempore, cujus elementum eſt $= \frac{dx\sqrt{Ma}}{\sqrt{6p(\sqrt{1-xx}-\sqrt{1-mm})(1-xx)}}$; cujus integrale ſi ita capiatur, ut evaneſcat poſito $x = 0$, tum verò ponatur $x = m$, dabit tempus ſemiſſis oſcillationis; quod utique pendebit à quantitate arcûs deſcripti α. Veruntamen oſcillationes minimæ erunt iſochronæ: quæ quantæ ſint futuræ ut appareat, ponamus arcum α valde eſſe parvum, ut ſinus m & x præ ſinu toto 1 quaſi evaneſcant, eritque $\sqrt{(1-xx)} = 1 - \frac{xx}{2}$; $\sqrt{(1-mm)} = 1 - \frac{mm}{2}$ & $\frac{1}{\sqrt{(1-xx)}} = 1 + \frac{xx}{2}$. Hinc fiet $\sqrt{(1-xx)} - \sqrt{(1-mm)} = \frac{mm-xx}{2} + \frac{m^4-x^4}{8}$ & $\frac{1}{\sqrt{\left(\sqrt{(1-xx)}-\sqrt{(1-mm)}\right)}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{mm-xx}{2}}} - \frac{(mm+xx)}{8\sqrt{\frac{mm-xx}{2}}}$. Ex quibus elementum temporis erit $= \frac{\sqrt{Ma}}{\sqrt{3p}}\left(\frac{dx}{\sqrt{(mm-xx)}} + \frac{(3xx-mm)dx}{8\sqrt{(mm-xx)}}\right)$, quæ formulæ cùm à quadraturâ circuli pendeant, ponatur ratio diametri ad peripheriam $= 1 : \pi$, eritque ſi poſt integrationem ponatur $x = m$, integrale $\int\frac{dz}{\sqrt{(mm-xx)}} = \frac{\pi}{2}$ & $\int\frac{xxdx}{\sqrt{(mm-xx)}} = \frac{mm\pi}{4}$, quibus valoribus ſubſtitutis fiet tempus dimidiæ oſcillationis $= \frac{\pi}{2}\left(1 + \frac{mm}{16}\right)\sqrt{\frac{Ma}{3p}}$: tempuſque integræ oſcillationis erit $= \pi\left(1 + \frac{mm}{16}\right)\sqrt{\frac{Ma}{3p}}$: &, ſi arcus α

evanescat tempus oscillationis minimæ prodit $= \pi \sqrt{\frac{Ma}{3p}}$.

§. 27. Si simili modo computentur penduli simplicis à sola gravitate animati cujus longitudo $= f$, oscillationes, reperietur tempus unius oscillationis $= \pi \sqrt{2f}$. Quamobrem si f sumatur pro longitudine penduli simplicis isochroni cum acu inclinatoriâ, habebitur $\pi \sqrt{2f} = \pi \left(1 + \frac{mm}{16}\right) \sqrt{\frac{Ma}{3p}}$, hincque $f = \frac{Ma}{6p} \left(1 + \frac{mm}{8}\right)$. Observato autem motu ejusmodi acûs inclinatoriæ suspensæ, ex theoriâ pendulorum innotescit longitudo penduli simplicis isochroni f: & cùm præterea dentur pondus acûs M, ejus longitudo $= 2a$, & sinus anguli in dimidia oscillatione percursi m, reperietur ex æquatione inventa vis Magnetica directrix absoluta p: erit scilicet $p = \frac{Ma}{6f} \left(1 + \frac{1}{8}mm\right)$, ita ut valor ipsius p reperiatur in pondere cognito expressus, quæ est perfectissima virium cognoscendarum ratio. Ex his ergò primùm patet tempora oscillationum majora fore, quò sint arcus percursi majores: id quod cum experientiâ egregiè consentit: acus enim ad quinque gradus à situ naturali deducta ut primâ oscillatione arcum 10° absolveret, primam oscillationem tempore $22''$, ultimam verò simulque minimam tempore $16''$ absolvit. Hæc ratio autem inter 22 & 16 multò major est, quàm ex formula esse deberet: unde concludi oportet vires sollicitantes in minore quàm sinuum angulorum ratione crescere, etsi resistentia aëris non parum ad oscillationes majores retardandas conferat.

§. 28. Quòd si autem tempus absolutum unius oscillationis contemplemur, arcu oscillatione percurso jam facto minimo, ut ejus sinus m negligi queat, erit $p = \frac{Ma}{6f}$. Muschenbroeckius autem observavit acûs quadrupedalis cujus pondus erat 6105 granorum, oscillationes minimas peractas esse $16''$. Hinc erit $M = 6105$ gran. $a = 2$ ped. vel $a = 2000$ scrup. Cùm ergò longitudo penduli simplicis

ſingulis minutis ſecundis oſcillantis ſit 3266 ejuſmodi ſcrup. erit f ſeu longitudo penduli denis ſenis ſecundis oſcillantis $= 836096$ ſcrup. ex quibus valoribus ſubſtitutis reperietur virtus Magnetica abſoluta $p = 2\frac{2}{5}$ gran. qui valor triplo major eſt illo valore $\frac{4}{5}$ gran. quem ſuprà pro eadem acu invenimus (paragrapho 21). Unde manifeſtò perſpicitur vim Magneticam directricem, ſi anguli, quibus acus à ſitu naturali declinant, fiant majores, in minore quadam ratione quàm in ratione ſinuum horum angulorum creſcere. Præthereà oſcillationes plurium acuum à Muſchenbroeckio obſervatas inter ſe comparavi atque deprehendi tempora oſcillationum proximè longitudinis acuum rationem ſequi, ita ut ſit $\sqrt{\frac{Ma}{3p}}$ uti a, ideoque perpetuò $\frac{M}{pa}$ quantitas conſtans. Quòd ſi ergò perpetuò longitudo acûs in partibus milleſimis pedis Anglici exprimatur, erit ferè conſtanter $\frac{M}{p} : a = 127 : 100$ ſeu proximè erit $p = \frac{100\,M}{127\,a}$, pro oſcillationibus quaſi infinitè parvis.

§. 29. Sic itaque comparatus erit motus oſcillatorius acûs inclinatoriæ, ſi axis per centrum gravitatis tranſiens, circa quem acus mobilis exiſtit, fuerit horizontalis ſimulque ad directionem materiæ Magneticæ normalis. Quoniam verò per hanc ſuſpenſionem effectus gravitatis aufertur omnis, perinde ac ſi planè gravitas non adeſſet, manifeſtum eſt ſitum axis horizontalem ad rem nihil prorsùs conferre: atque motum oſcillatorium omninò eundem eſſe proditurum, utcunque axis acûs ad horizontem fuerit inclinatus, dummodò ad directionem materiæ Magneticæ ſit normalis: hoc eſt, dummodò axis acûs collocetur in plano, quod ad directionem materiæ Magneticæ eſt normale. Dantur ergò innumerabiles acum ſuſpendendi modi, qui omnes oſcillationes æque diuturnas producunt, & qui, quod præcipuè eſt ſpectandum, in acu eundem quietis ſitum efficiunt; in his enim omnibus ſuſpenſionibus acus in ipsâ directione Magneticâ acquieſcet. Hoc adeò pacto, ſi acûs centrum gravitatis in ipſum axis medium incidat, per infinitas ſuſpen-

ſiones diverſas, vera directio Magnetica explorari ac definiri poterit : niſi fortè directio Magnetica fuerit ad horizontem normalis ; tum enim axis acûs perpetuò in ſitu horizontali debebit eſſe ſitus, quæ poſitiones etſi ſunt numero infinitæ, tamen ſi ad uſum ſpectemus, vicem unius tantùm ſuſpenſionis ſuſtinent.

§. 30. Quando autem axis, circa quem acus mobilis exiſtit, non fuerit normalis ad directionem Magneticam, ſed cum ea angulum obliquum conſtituat, tum in motu ſuo ne ad hanc quidem directionem pertingere, multò minùs in eâ quieſcere poterit. Interim tamen circa axem ſuum mobilis in certo quodam ſitu acquieſcet, diverſo quidem à directione Magneticâ, veruntamen ita comparato, ut cum axe acûs & cum directione Magneticâ in eodem plano verſetur; quippe qui ſitus inter omnes, quos acus recipere valet, proximè accedit ad eum, quem natura intendit. Sic acus declinatoria, quæ circa axem verticalem eſt mobilis, in eo tandem circulo verticali quieſcet, qui per directionem materiæ Magneticæ tranſit; ſicque veram declinationem Magnetis oſtendit. Ex quo intelligitur ſi axis acûs in ipſam directionem Magneticam diſponatur, tum acum ad omnes ſitus recipiendos æquè fore proclivem, neque ullum præ ceteris eſſe electuram. In reliquis verò caſibus, quibus axis acûs cum directione Magneticâ angulum obliquum facit, tum non ſolùm unum ſitum præ reliquis omnibus affectat, ſed etiam circa eum oſcillationes peraget, lentiores quidem, quàm ſi axis ad directionem Magneticam eſſet normalis, attamen ſimili modo determinandas. Si enim ſinus anguli, quem axis cum directione Magneticâ conſtituit ſit, $= k$, erit pro oſcillationibus minimis longitudo penduli ſimplicis iſochroni $= \frac{Ma}{6kp}$: ſi à diminutione virtutis Magneticæ antè memoratâ mentem abſtrahamus.

§. 31. Ex his proprietatibus adipiſcimur modum certum ac facilem, acum inclinatoriam propoſitam quamcunque examinandi, an ſit perfecta, veramque inclinationem

Magneticam oſtendat: quo ipſo præcipuam partem quæſtionis ab Illuſtriſſima Academia Regia propoſitæ contineri arbitror. Niſi enim via certa pateat, cujus ope cognoſci queat, utrùm propoſita acus inclinatoria quæſito perfectè ſatisfaciat necne? neſcio quomodò acus bonæ à pravis ac vitioſis diſcerni, atque adeò judicari poſſit, utrùm quis quæſtioni ſatisfecerit necne? Nemo enim non dubitaret acum à ſe fabricatam pro optima venditare, & quantumvis ea ab aliis diſſentiret, errorem in reliquas omnes conjicere. Hanc ob rem celeberrimum Muſchenbroeckium vehementer miror nequidem de modo cogitaſſe, quo inter tres acus ſuas inclinatorias tantoperè inter ſe diſcrepantes, eam quæ ad veritatem proximè accederet, dignoſcere poſſet. Maximè autem demiror hunc virum aliàs in judicando tam cautum, ut nihil, niſi quod experientia clariſſimè evincat, admittere velit, tamen non dubitaſſe iſtam diſcrepantiam acuum ſuarum, inconſtantiæ cuidam ipſius virtutis Magneticæ, & quaſi moroſitati ſubſtantiæ cujuſpiam intelligentis phænomena Magnetica gubernantis, adſcribere; cùm tamen ipſe optimè notaſſet, quantam curam ad acum bonam conficiendam adhiberi oporteret, atque ex minimo vitio in ſtructura commiſſo ingentes errores enaſci poſſe.

§.32. Oblatâ igitur acu Magneticâ, plurimis imò innumerabilibus modis explorare poterimus, utrùm ea veram directionem Magneticam patefaciat necne? Primò enim cognito per acum declinatoriam bonam plano verticali, in quo directio Magnetica verſatur, collocetur axis acûs propoſitæ in ſitu horizontali ad iſtud planum normali, atque notetur inclinatio, in qua acus tandem liberrimè mobilis conſiſtet, qui ſitus tantiſper pro verâ directione Magneticâ habeatur, donec contrarium appareat. Deinde ad hanc directionem planum normale conſtituatur, & axis acûs pro lubitu ſecundùm hoc planum diſponatur, ſituſque quietis in quo acus conſiſtit, diligenter notetur; qui, ſi congruat cum ſitu primùm obſervato, probabile erit indicium acum eſſe

bonam, & quia ejusmodi examina innumera institui possunt, omnium consensus bonitatem acûs omni modo evincet: sin autem inter hæc examina dissensus deprehendatur, dubium erit nullum, quin acus sit repudianda. Præterea verò etiam acûs axis secundùm ipsam directionem Magneticam primùm observatam disponatur, ut appareat, an acus nunc ad omnes situs prorsùs sit indifferens; nisi hoc enim animadvertatur, certum erit indicium, directionem primùm observatam non esse veritati consentaneam.

§. 33. Ad hæc examina instituenda ejusmodi opus erit machinâ idoneâ, cujus ope axis acûs ad omnes situs disponi, acusque liberrimè gyrari queat. Tum verò quoque ejus indolis machinam esse oportet, ut per eam facilè cùm situs axis tum positio acûs ipsa dignosci atque determinari possit. Axis igitur $p\,q$ acûs Magneticæ AB cujus termini p & q in cuspides non nimis acutas desinunt, commodissimè intra duas cavitates conicas $r\,p\,s$, $r\,q\,s$ maximè politas, aut ex vitro cryſtallove confectas constitui posse videtur. Quo autem frictio minus noceat, & quantum fieri potest, tollatur, anguli concavi ad p & q aliquanto obtusiores esse debebunt angulis convexis axis $p\,q$, ut contactus quasi in uno fiat puncto. Cavitates istæ conicæ ope cochlearum infixæ sint annulo $A\,E\,B\,F$, ita ut earum distantia pro lubitu augeri diminuive possit, prouti agilitas acûs cujusque propositæ postulat. Sit iste annulus more solito in gradus divisus, ipse verò in situ verticali contineatur, à capitulo K, cui ad quemvis gradum immitti & cochlearum ope confirmari potest: quem in finem capitulum K instructum est indice I monstrante, quænam limbi divisio imum teneat locum. Hoc igitur modo axis $p\,q$ ad angulum quemcunque facilè poterit inclinari; figura enim repræsentat situm axis $p\,q$ verticalem, in quo si indici I respondeat initium divisionis in limbo annuli factæ, numerus graduum, qui ad indicem I transfertur, monstrabit, quantum angulum axis $p\,q$ cum linea verticali constituat. Fig. VII.

§. 34. Hoc autem motu axis acûs perpetuo manebit

in eodem circulo verticali: quare ut is in alium quemcunque circulum verticalem converti queat, reddatur ipſum capitulum *K* cum pede *KL* mobile ſuper baſi fixâ *LM* azimutha repræſentante; ità ut converſione pedis ſuper baſi azimuthali *MO* annulus *EAFB* in circulum verticalem quemcunque ſtatui poſſit. Hunc in finem peripheria baſis more ſolito diviſa eſt in 360 gradus, & pedi *KL* annexus eſt index *LM* cum annulo in eodem plano exiſtens, qui igitur perpetuò monſtrabit, in quonam circulo verticali annulus, ſimulque axis acûs verſetur. Ipſa denique baſis annexas habeat regulas *N* & *S* ſibi diametraliter oppoſitas, quæ ad Lineam Meridianam applicatæ ſitum totius inſtrumenti ad uſum accommodatum determinant. Hocque pacto inſtrumentum ita erit paratum, ut axis acûs in quocunque ſitu propoſito collocari & affirmari poſſit, quemadmodum experimenta inſtituenda requirunt. Quo autem poſitio acûs, in qua utcunque ſuſpenſa acquieſcit, faciliùs dignoſcatur, annulus normaliter ab *A* ad *B* cingatur limbo quaſi æquatore *GH*, *GH*, quem ex duabus partibus crenam inter ſe intercipientibus confici conveniet, ut acûs extremitates intra hanc fiſſuram liberè moveri queant: hujuſque limbi ſeu æquatoris diviſio monſtrabit perpetuò acûs poſitionem, quæ, quomodo tum reſpectu horizontis tum inclinationis ſe habeat, ſine difficultate intelligetur.

§. 35. Machina ſecundùm hæc pæcepta affabrè conſtructa, non ſolùm acubus explorandis, eo quo expoſui modo, inſerviet, ſed etiam, cùm acus fuerit bona, declinatio & inclinatio Magnetis ſatis expeditè obſervari poterit. Acu igitur intra cavitates conicas incluſâ, baſis ope regularum *N* & *S* ſecundùm Lineam Meridianam diligenter collocetur, ſimulque ſecundùm libellam conſtituatur, ut tàm pes *KL* quàm planum annuli ad horizontem ſit normale. Tum pes *KL* cum annulo ita convertatur, ut index *LM* in Lineam Meridianam incidat, quod eveniat, ſi index ad principium diviſionis in ora baſis factæ ſiſtatur; ſicque ſimul planum annuli *EAFB* in circulo meridiano erit conſtitutum.

conſtitutum. Deinde annulus capitulo *K* ita infigatur, ut bacilli *Ep* & *Fq* cavitates conicas gerentes in ſitum verticalem perveniant; quod evenire pono, ſi index capituli *I* principio diviſionis in annulo factæ reſpondeat. Hoc modo axis acûs ſitum tenebit verticalem, & acus mobilis erit in plano horizontali, in quod æquator incidet. Notetur ergo in æquatoris fiſſura punctum, in quo acus acquieſcet; & quoniam annuli margo *B* Septentrionem ſpectat, ſi hinc diviſio æquatoris incipiat, innoteſcet ſtatim declinatio Magnetis, ſi quidem acus ritè fuerit virtute Magneticâ imbuta, etiamſi axis non perfectè per centrum gravitatis acûs tranſeat.

§. 36. Declinatione ſic inventâ, convertatur pes *KL* cum annulo ſuper baſi eouſque, donec acus quieſcens in æquatoris fiſſura nonageſimum gradum ab *B* numerando attingat. Tum pede immoto annulus in capitulo per arcum 90°, circumagatur, ut axis acûs in ſitum horizontalem perducatur, ſicque fiet ut jam acus moveatur circa axem ſuum in plano verticali per directionem Magneticam tranſeunte; atque æquatoris fiſſura nunc ſitum tenebit verticalem, ejuſque gradus nonageſimus, cum centro acûs ſemper manebit horizontalis. Notetur ergò ſitus, in quo acus acquieſcet, hincque cognoſcetur vera acûs Magneticæ inclinatio, ſi quidem acus omni careat vitio. At verò hoc ipſum, utrum in acu vitium inſit necne? per varios ſitus, in quos axis acûs dirigitur, ope machinæ hujus facilè explorabitur, cùm ad quemcunque ſitum facilè collocari poſſit. Hujuſmodi autem examina beneficio hujus machinæ inſtituenda ſatis antè ſunt expoſita, ut ſuperfluum foret ea hîc repetere. Tædioſum enim eſſet in figura machinam præſentante omnes operationes deſcribere, quibus axis acûs ad quemvis datum ſitum perducatur, cùm tamen eædem operationes & motiones facillimè intelligantur, ſi machina fuerit conſtructa, atque ob oculos poſita.

§. 37. Quoniam ope hujus inſtrumenti acus vitioſæ non ſolùm à bonis facilè & expeditè diſcernuntur, ſed etiam

intelligi poteſt, in quamnam partem error vergat, etiam ope acûs vitioſæ vera materiæ Magneticæ directio cognoſci poſſe videtur. Quum enim errorem, ſi quis in acu inſit, animadvertamus; ſi modo poſſemus erroris quantitatem explorando eruere, quæſtioni omni numero ita ſatisfieret, ut directionem Magneticam ſine acûs perfectiſſimæ adminiculo cognoſcere poſſemus; id quod ob ſummam acus probatas fabricandi difficultatem, maximam afferret utilitatem. Videtur quidem ex pluribus aberrationibus obſervatis veritas elici poſſe; at verò attendenti mox patebit hoc præſtari non poſſe, niſi priùs ratio conſtet quam vis Magnetica directrix in diverſis à ſitu naturali elongationibus ſequitur. Quæ ratio cùm nihil minus ſit quàm cognita, neque ſine acu bonâ cognoſci poſſet, hinc nullum ferè commodum in præſente inveſtigatione expectari poteſt. Quamobrem hæc nobis tantum relinquitur provincia, ut in methodum certam ac non nimis operoſam inquiramus, cujus ope acus Magneticæ omnibus numeris abſolutæ confici atque ad uſum adſtrui queant: quæ eſt ipſa illa quæſtio, in qua Muſchenbroeckius aliique naturæ ſcrutatores tantum ſtudium collocaverunt.

§. 38. Quo hujuſmodi acus perfecta conficiatur, primùm ipſius acûs figura ac magnitudo ſpectari debet, tum verò axis, cujus ope ſuſpenditur, atque tertiò ipſa ſuſpenſio, de qua quidem jam fuſiùs eſt explicatum. Quod igitur primùm ad figuram attinet, experientia docuit priſmaticam quadrangularem ipſi maximè convenire; ejuſmodi enim acus Magnete tacta multò majori imbuitur virtute, quàm cylindrica aut ulla alia à priſmaticâ recedens, quæ quidem ejuſdem ſit & longitudinis & craſſitiei. Deinde verò virtus à Magnete excepta plurimùm augetur, ſi inter acûs longitudinem, latitudinem & craſſitiem idonea intercedat ratio; ita ut cum eadem longitudine craſſitudo neque nimis magna nec nimis parva conjungatur. Obſervavit enim Muſchenbroeckius acum 4 pedes longam maximâ virtute Magneticâ imbui, ſi ipſi detur latitudo circiter ſemi-pollicis,

craſſities verò quadranti pollicis æqualis. Quanquam autem hic Auctor acu tantæ longitudinis ad inclinationem obſervandam utitur, tamen quia ipſe tantam longitudinem ad declinationem invenit minùs aptam, & uterque effectus ab eâdem causâ proficiſcitur, mallem equidem acus breviores etiam in inclinationis negotio anteferre. His ſcilicet rationibus conjunctis, cùm acus ſemipedales pro declinatione cenſeantur aptiſſimæ, acus longitudinis unius pedis videntur ad noſtrum inſtitutum maximè accommodatæ, ſiquidem earum pondus circiter conſtituatur 600 granorum.

§. 39. Ejuſmodi ergò acus ex chalybe duriſſimo ſimul ac puriſſimo fabricetur per totam longitudinem ejuſdem craſſitiei, niſi quòd extremitates in cuſpides acuminentur, quò faciliùs ejus ſitus in limbi diviſione cognoſci queat. In hujus itaque acûs medio puncto erit ipſius centrum gravitatis ſaltem proximè: hocque ideò in loco ad latitudinem utrinque cuſpides normaliter afferruminentur, quæ torno ſummâ curâ elaborentur, & in terminis acuminentur, ut axem circa quem acus liberrimè circumagi queat, exhibeant. Magis enim convenit hunc axem ex duabus partibus conſtantem utrinque afferruminari, quàm acum in medio perforare axemque transfigere; plurimùm enim refert, ut acûs continuitas ſecundùm longitudinem quàm minimè interrumpatur. Deinde verò etiam expediret axem ex ære potiùs confici quàm ferro, ne virtus acûs ab axe ullo modo turbetur: quoniam autem metuendum eſt, ne axis æneus per attritionem mox damnum patiatur, ex chalybe duriſſimo quoque ipſum confici oportebit; neque enim hinc, quia utrinque æqualiter prominet, ulla ſenſibilis alteratio in acûs directione oriri poteſt, hoc ipſum experientiâ teſtante. Quamobrem niſi velimus axem utrinque afferruminare, poterit acus cum axe ex eâdem chalybis laminâ exſcindi, ubi præcipuè erit attendendum, ut axis ſit in directum extenſus, atque ad acûs longitudinem perfectè normalis, quod quidem torni ope facilè obtinebitur.

§. 40. Cùm acus hoc modo omni adhibitâ diligentiâ unâ cùm axe fuerit parata, parum aberit, quin medium axis per centrum gravitatis transeat. Superest igitur, ut, quia axis non ampliùs mutari potest, centrum gravitatis acûs in medium axis perducatur. Primùm igitur indagari debet, utrum jam centrum gravitatis ab axis medio sit remotum, & quam in partem discedat; quæ investigatio more solito institui non potest, nisi acus à solâ gravitate sollicitetur. Quamobrem maximè erit cavendum, ne acus jam in hoc statu ullam acquisierit vim Magneticam; quæ cautela uti summoperè est necessaria, ita multò erit difficilior, quàm videatur. Difficillimum enim est chalybem, ita attemperare, ut omni virtute Magneticâ careat. Et, quamvis chalybi per ignitionem omnis vis Magnetica adimitur, tamen inter refrigerandum de novo aliquâ virtute imbuitur, pro ratione sitûs, in quo frigesit. Quò propiùs enim positio, in qua acus ignita refrigerio committitur, ad directionem Magneticam accedit, eò major vis Magnetica in ipsam intrat. Quam ob causam conveniet acum, dum refrigeratur, in situ ad directionem jam circiter cognitam Magneticam normali tenere, vel interea quaquaversùs agitare. Deinde verò etiam notari oportet, acum etiam cùm à limâ tum à malleo virtutem Magneticam adipisci nonnunquam solere, quas ergò circumstantias attentissimè perpendi oportebit.

§. 41. Hanc ob causam, methodum consuetam acûs ope limæ in æquilibrium redigendi, dum continuò in parte, quæ gravior deprehensa fuerit, aliquid abraditur, donec perfectum obtineatur æquilibrium, omninò probare non possum. Ad hoc accedit, ut ista operatio non solùm sit maximè laboriosa, tædiique plenissima, sed etiam admodùm incerta, dum limæ ope non ad arbitrium pars præponderans levior reddi potest; &, si nimium fuerit abrasum in parte oppositâ, eadem operatio de novo repeti debet, quò tandem fiet, ut figura acûs nimium desirmetur, quo ipso virtus Magnetica ingens detrimentum patitur.

Præterea duplici modo centrum gravitatis à medio axis aberrare poteſt. Vel enim axe cum acu in ſitum horizontalem poſito, in plano horizontali per medium axis tranſeunte, reperietur centrum gravitatis; vel minus. Si in hoc plano non ineſt, ſed vel ſuprà vel infrà cadit, ope limæ vel in parte ſuperiore acûs vel inferiore quicquam abradi deberet, donec centrum gravitatis in hoc planum horizontale incidat. Tum verò adhuc vel iis vel ultra medium axis cadet, ac propterea alterutrum brachium limari debebit, quò non ſolùm æquilibrium hoc reſpectu difficulter obtinebitur, ſed dum lima applicatur, æquilibrium priori reſpectu iterùm facilè deſtruitur, adeò ut hoc pacto vix ac ne vix quidem acus in perfectum æquilibrii ſtatum reduci queat.

§. 42. Hoc igitur modo tædioſo æque atque incerto acus Magneticas præparandi penitùs relicto, aliam proponam viam, quâ tutiùs & expeditiùs ac ſine tot tentaminibus centrum gravitatis exactiſſimè in medium axem perduci queat, quo ſimul limæ uſus nonnunquam tantoperè pernicioſus evitetur. Acus *AB* modo ſuprà indicato fabricata circa medium muniatur lamellâ æneâ *ab* per quam axis *C* utrinque promineat. Ad alterum latus ſuper axe affixum ſit fruſtulum *d*; in quo cochlea *c* capitulo graviuſculo *c* inſtructa magis minuſve infigi, hocque pacto centrum gravitatis vel attolli vel deprimi queat. Tum in dorſo acûs ſuper lamella promineant corpuſcula *e* & *f* foraminibus cochleatis pertuſa, per quæ tranſeat filum cupreum *gh* utrinque in capitula craſſiora *g* & *h* terminatum, cujus fili motu centrum gravitatis vel ad dextram vel ad ſiniſtram promoveri poſſit. Totum hunc apparatum ſatis levem eſſe pono, prout acûs magnitudo poſtulat, ut ejus pondus non nimis augeatur. Inferiorem acûs planitiem omninò nudam eſſe oportet, ut apparatus iſte non impediat, quominùs acus ſuper Magnete traduci poſſit. Cùm igitur iſta armatura in ſuperiori ſuperficie potiſſimùm applicata centrum gravitatis per ſe aliquantulum ſursùm promoveat, ora lamellæ inferior *ab* aliquantò craſſior conficiatur, ut centrum

Fig. VIII.

gravitatis totius non minùs proximè in medium axis incidat.

§. 43. Acus autem cum apparatu defcripto ita jam fit comparata, ut centrum gravitatis proximè in medium axem *C* incidat; id quod peritus Artifex facilè impetrabit, neque ad hoc opus præcepta admodùm requiret. In hoc ftatu axis acûs in fitu horizontali imponatur duobus excipulis vitreis politiffimis parumper excavatis, ut acus liberrimè fine ullâ frictione gyrari poffit. Tum primùm defpiciatur, utrùm acus in fitu horizontali confiftere queat, an minùs: &, fi alterum brachium præponderet, tum ope fili *g h* in contrariam plagam adigendi perfectum æquilibrium in fitu horizontali facilè obtinebitur; ficque centrum gravitatis in rectam verticalem per medium axis tranfeuntem incidet. At fieri adhuc poteft ut vel fuprà vel infrà axis medium cadat: quod cognofcetur, fi acus obliquè pofita vel fefe in fitum horizontalem reftituit vel ab eo magis recedit. Utrumque hoc incommodum tolletur, fi capitulum *c* ope cochleæ vel magis in finum infigatur, vel inde extrahatur, qui motus cùm ad libitum poffit attemperari, atque æquilibrium ratione fitûs horizontalis jam ante effectum non turbet, fine ingenti operâ acus in fitum convenientem conftituetur, ita ut ad omnes omninò fitus recipiendos fit indifferens, in hoc igitur ftatu femel invento perpetuò debet relinqui.

§. 44. His omni diligentiâ præparatis, acus ad Magnetem generofum ac liberalem fecundùm præcepta artis affricetur, habebiturque acus tam ad declinationem quàm inclinationem directionis Magneticæ obfervandam maximè idonea. Ea igitur machinæ fuprà defcriptæ inferi, atque omnibus modis, utrùm fit perfecta, examinari poterit, quò certiùs ipfi confidere queamus: quin etiam fi quod vitium in ftructurâ commiffum deprehendatur, id in fabricâ aliarum acuum eò faciliùs evitabitur. Quando autem acus omni vitio carens fuerit inventa, tùm quidem machinæ fuprà defcriptæ inclufa ufui infervire poterit; quòd fi autem

ad inclinationem tantùm indagandam adhiberi debeat, ſufficiet axem perpetuò in ſitu horizontali conſervare; neque ideò opus erit cavitatibus conicis reliquiſque ambagibus inſtrumenti præſcripti. Imponi ſcilicet poterit axis acûs duobus fulcris vitreis maximè politis, &, ne hinc inde vagari poſſit, pauliſper excavatis; ſicque evitabitur prorsùs frictio, quam unquam cavitates conicæ producere poſſent. Et quia declinatio Magnetis aliunde aſſumi poteſt cognita, ne quidem circulo azimuthali opus erit.

§. 45. Poſtquam igitur acus fuerit fabricata atque explorata, ad inclinationem tantùm obſervandam ſufficiet tabula *SN sn*, in cujus alterâ planitie circulus diametri unius pedis (ſi quidem acus ſit pedalis) *acbd* diviſus ſit in gradus & minuta. Tum cavitates vitreæ in tabulâ & trabeculâ *EF* ita diſponantur, ut axis iis impoſiti medium per centrum circuli illius tranſeat; vel potiùs his cavitatibus jam poſitis circulus deſcribatur ac dividatur. Conveniet etiam tabulam laminâ vitreâ operire, ut acus ſit incluſa & ab omni injuriâ tempeſtatis libera, nihilo verò minùs transvitrum ejus poſitio dignoſci queat. Iſta autem acûs defenſio eò magis eſt neceſſaria, quod tantillâ cochlearum, quibus acûs in ſtatum æquilibrii eſt conſtituta, converſione acus prorsùs inutilis reddatur. Hæc ergò tabula ſecundùm meridianum Magneticum, qui ex declinatorio conſtat, collocetur; & quò ſitum teneat verticalem, ſimulque ſupremus margo *SN* fiat horizontalis, machina inſtructa eſt libellâ *GH*; quæ ſi ita conſtituatur, ut binæ cuſpides *G* & *H* ſe attingant, ad uſum ſit parata. Obſervari ergò poterit gradus quem cuſpis acûs *B* tangit, & quoniam diviſio circuli à diametro horizontali incipit, perſpicietur inclinatio Magnetica non ſolùm ad gradus, ſed ad dena ac fortaſsè ad quina minuta. Fig. IX.

§. 46. Haud multò difficilius erit ope ejuſdem inſtrumenti in navibus, niſi tempeſtas ſit admodùm turbida, inclinationem acûs Magneticæ obſervare, etiamſi declinationis obſervatio ſit difficillima in mari. In mari autem, loco libellæ

G H, uti conveniet binis dioptris *N S*, per quæ ad horizontem viſatur, ut principium diviſionis circuli *a c d b* ſitum acûs horizontalem indicet. Planum tabulæ autem proprio pondere, ſi cura obſervatoris accedat, quaſi ſponte ſitum tenebit verticalem. Nil igitur ſupereſt, niſi ut per acum declinatoriam meridianus Magnetis notetur, tabulaque ita diſponatur, ut ea in hoc meridiano ſeu circulo verticali per directionem Magneticam tranſeunte verſetur. Quo facto gradus, quem cuſpis acûs *B* monſtrat, indicabit inclinationem acûs Magneticæ, quæ adeò cognoſci poteſt declinatione nondum inventâ. Quin etiam ſine acu declinatoriâ, ope propoſiti inſtrumenti inclinatio Magnetis inveſtigari poterit, cùm enim manente axe acûs horizontali, inclinatio ſit minima, quando axis ad meridianum Magneticum fuerit normalis, tabula tamdiu convertatur donec inclinatio fiat minima, quæ erit vera inclinatio materiæ Magneticæ.

FINIS.



Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

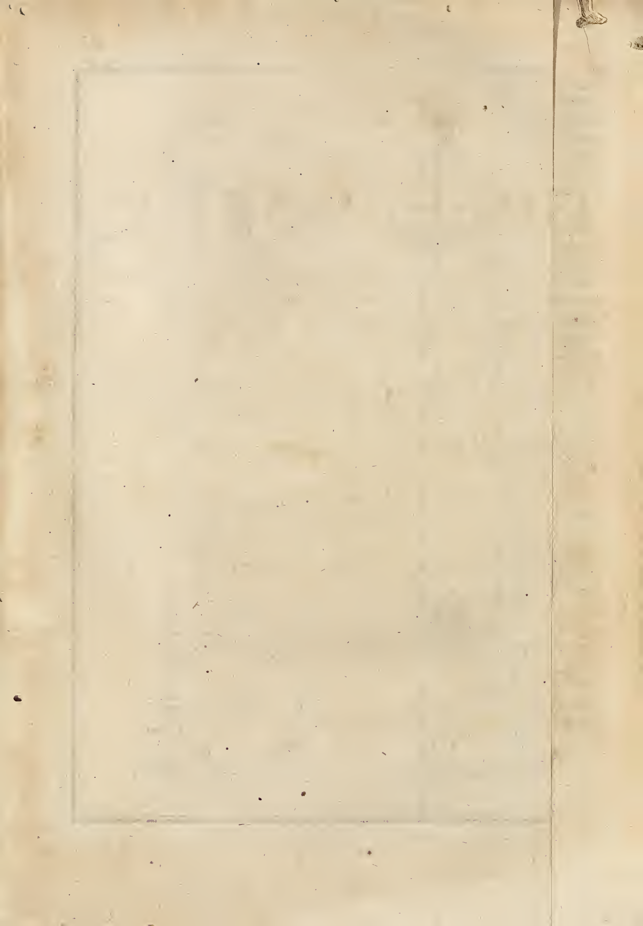
Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.



DISSERTATIO

DE

MAGNETE.

Cette Piece est une des trois entre lesquelles le Prix Triple a été partagé.

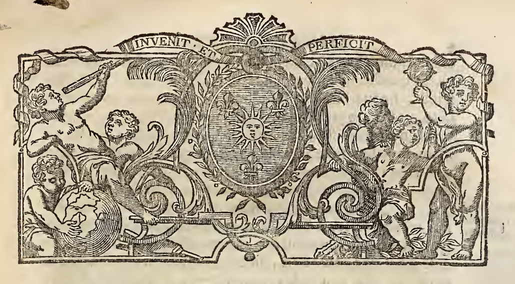
Quærendi defatigatio turpis est, cùm id, quod quæritur, sit pulcherrimum. Cic. de fin. bon. & mal.

A D.D. EULER, Mathefeos Profeffore, è Societate Academiæ Imperialis Petropolitanæ.

Prix 1744. A







DISSERTATIO
DE
MAGNETE.

Quærendi defatigatio turpis est, cùm id, quod quæritur, sit pulcherrimum. Cic. de fin. bon. & mal.

§. 1. CREDO ego, Illustrissimam Academiam Regiam illorum opinioni minimè assentiri, qui causam virtutis Magneticæ quærendo defatigati non dubitant ullam horum phænomenorum causam intelligibilem dari pertinaciter negare. Hoc certè mihi quidem clarissimè confirmare videtur repetita hujus ejusdem quæstionis propositio, qua Academia Regia satis luculenter publicè declarat, quærendi defatigationem esse turpissimam, cùm id, quod quæritur, sit pulcherrimum. Cùm

Virtutis Magneticæ causa Physica datur.

enim Illustrissima Academia ante biennium hanc de Magnete quæstionem cum lauti præmii promissione proposuisset, neque tamen quicquam invenisset, in quo acquiescere posset, gravissimam sanè causam hanc quæstionem deferendi habuisse, videretur. Verùm tantum abest, ut istam investigationem propterea relinquendam censeat, ut potiùs præmium duplicare, hocque magis animos ad istud negotium suscipiendum inflammare decreverit.

Hæc causa est vehementer abscondita.

§. 2. Quanquam equidem nunquam dubitavi, quin omnes naturæ effectus à causis mechanicis proficiscantur; ac semper malui ignorantiam meam palàm profiteri, quàm quicquam sine causa fieri, dicere; tamen natura Magnetis perpetuò mihi tam ardua ac tantopere abscondita est visa, ut omne studium atque operam in ejus indagatione frustrà à me impendi sim arbitratus: quæ causa me etiam absterruit, ut, cùm primùm hæc quæstio proponeretur, in ea enodanda ne quidem elaborare sim ausus, non quò mihi dignitas quæstionis minùs esset perspecta, sed quoniam vidi tot præstantissimorum virorum, qui hoc opus sunt aggressi, conatus irritos fuisse omnes. In primis verò me detinuit celeberrimi Muschenbroeckii provocatio, qui conquisitis atque examinatis summo studio experimentis id tandem se evicisse jactat, virtutum Magneticarum causam prorsùs non esse Mechanicam, neque ulli substantiæ materiali adscribi posse. Quod etsi mihi quidem minimè persuasit, tamen spem ademit omnem in hoc sublimi negotio quicquam proficiendi.

Non tam fons, quàm explicatio virtutis Magneticæ desideratur.

§. 3. Si hoc consilium protinùs sequi voluissem, nunc certè maximè ab hoc onere me abstinere oporteret, postquam tot egregia summoque studio elaborata tentamina ipsius Academiæ æquissimo judicio sint repudiata. Quæ cùm apud me diligentiùs evolvissem, fieri profectò non posse mihi visum est, ut omnes conjecturæ, quæ ad phænomena Magnetis explicanda adhuc sunt excogitatæ, à veritate æqualiter abhorreant, propterea quòd nullum fontem, ex quo vires Magneticæ promanare queant, prætermissum esse

videbam. Quamobrem non tam in novum fontem, ex quo hujusmodi vires deriventur, inquirendum esse intellexi, quàm in ipsum derivationis modum. Neque idcirco primam originem adhuc latere existimo, sed solùm rationem, quâ ex jam cognita origine singula Magnetis phænomena dilucidè deduci atque explicari queant. Quod negotium cùm sit difficillimæ indaginis propter plurimas quæstiones maximè intricatas antè evolvendas, non ampliùs tantopere miror, evidentem horum phænomenorum explicationem etiam nunc desiderari.

§. 4. Omnino autem Cartesius mihi videtur, qui istam explicationem primus ferè cum ratione est aggressus, non adeo à scopo aberrasse, ut ejus idea penitùs rejici debeat. Quamvis enim totum negotium neutiquam confecerit, tamen naturam secutus neque in prima causa assignanda, neque in ipsa explicationis ratione tantùm à veritate recessisse videtur, quantùm factum esse comperio à pluribus Philosophis recentioribus, qui dum ejus ideas reformare atque emendare voluerunt, in crassissimos errores inciderunt. Atque omnino novissimi Philosophi mihi quidem videntur eò longiùs à veritate digressi, quò majus studium attulerint ad antecessorum sententias evertendas & explodendas. Sicque novitatis studium cognitioni veritatis vehementer impedimento fuisse existimo. Hoc pacto enim factum est, ut profligatis omnibus rationalibus modis naturam Magnetis explicandi, nil aliud relinqueretur, nisi ut causa incorporea in medium produceretur.

Recentiores Physici parùm in hac explicatione profecerunt.

§. 5. Quoniam igitur dubium est nullum, quin omnes Magnetis effectus à causa corporea sive mechanica proficiscantur, hanc causam partim in interna Magnetis structura, partim in materia extra Magnetem subsistente quæri oportebit. Cùm enim hæc virtus, cujus causam investigamus, non in omnibus corporibus, sed in certa tantùm specie, ad quam scilicet Magnetem ac ferrum Magnetica virtute imbutum referimus, reperiatur, necesse est, ut interna horum corporum indoles sit prorsùs peculiaris, atque à

Causa virtutis Magneticæ, partim intra, partim extra Magnetem, quæri debet.

natura reliquorum corporum, in quæ talis vis non cadit; penitùs diversa. Quomodocunque autem hæc interna corporum Magneticorum constitutio sit comparata, tamen ab ea sola oriri non possunt illa phænomena, quibus videmus duos Magnetes se mutuò non contingentes in se invicem cùm attrahendo, tum repellendo, tum etiam dirigendo agere, & vires exercere. Ex quo perspicuum est, præter internam corporum Magneticorum structuram, adesse materiam quandam hæc corpora ambientem, atque extra illa subsistentem, quæ cum ipsa structura cuncta phænomena producere valeat.

Causæ externæ existentia à Philosophis pluribus indubium vocatur.

§. 6. Quod ad priorem causæ partem attinet, neminem fore arbitror, qui internum Magnetis statum à reliquis corporibus discrepare neget. Etiamsi enim Magnes præ reliquis corporibus non præditus esset tam eximiis virtutibus, tamen propter hoc ipsum, quòd differat à reliquis corporibus, nemo dubitaret in ipso structuram peculiarem, qua distinguatur, statuere. Longè aliter autem de materia illa externa, in qua alteram causæ partem positam esse dico, nonnullos Philosophos hoc præsertim tempore sentire video, qui pertinaciter negant ullam materiam subtilem ad naturæ phænomena explicanda adhiberi oportere, cujus existentia per clarissima experimenta ad oculum demonstrari non possit. Quæ lex etsi primùm ad compescendam libidinem pro arbitrio ac sine causa urgente materias quasvis subtiles fingendi, meritò est sancita, tamen nunc quidem à plerisque ita latè extenditur, ut penè omnis causarum cognitio funditùs tollatur.

Existentia materiæ subtilis asseritur.

§. 7. Hoc loco autem isti circumspecti naturæ scrutatores primùm declarent, an planè negent ullam in mundo existere materiam tam subtilem quæ neque sensus perceptibili modo afficiat, neque per experimenta eò reduci queat, ut quasi manibus palpari possit. Quæ opinio, utì per gravissimas rationes ostendi posset absurdissima, ita vix quenquam fore credo, qui eam apertè ac seriò tueri velit. Ita igitur sententiam suam mitigabunt, ut non licere dicant in explicatione

cujusquam phænomeni naturæ ad ullam materiam confugere, quæ sensibus percipi nequeat: hocque non quasi ejusmodi materia subtilis non detur, sed quòd ejus existentia sensibus probari non possit. Quòd si ergo cujuspiam phænomeni causa in ejusmodi materia imperceptibili lateat, quod sanè fieri posse, nisi in prius absurdum recidere velint, negare non poterunt, quomodo se Physicum gerere oportebit? Num causam ibi, ubi non est, quærere, an fortè omnino ne quærere quidem velle debebit? quorum illud homine, hoc verò Physico ita est indignum ut quod maximè. Quid igitur his cautis Philosophis, quod respondeant, relinquatur non video, nisi vel ejusmodi phænomena sine ulla causa fieri dicere, vel ad qualitates occultas revocare velint, quorum utrum Physico sit turpius, tam facilè non dixerim. Sin autem substantiæ cuidam immateriali & quasi spiritui causam adscribendam esse putant, sibi ipsi minimè constant: qui dum ideo omnem materiam subtilem ex Physica profligant, quòd sensus non titillet; propter hoc ipsum spiritus introducendos esse arbitrantur, quòd sensus nostros prorsùs effugiant. Ita fit, ut dum nihil, nisi cujus existentia sensibus probari possit, in Physica admittere volunt, iidem ipsi innumerabilia spirituum genera introducant, quorum existentia neque per experimenta, neque per rationem unquam evinci queat, qua certè Philosophandi ratione, nihil quod magis esset ridiculum, excogitari potest.

§. 8. His summis incommodis perpensis, universa tandem ista severa præceptio eò reducetur, ut in statuendis ejusmodi materiis subtilibus, per quas phænomena naturæ explicentur, admodùm cautum esse oporteat; quo sensu si accipiatur, equidem ita assentior, ut in hoc præcepto firmissimum totius Philosophiæ præsidium positum esse existimem. Non quòd putem majorem hypotheses atque materias subtiles fingendi libertatem cognitioni veritatis esse perniciosam; mihi enim omnino persuasum est, non nisi post plurima tentamina, quæ hypothesibus excogitandis in-

In statuenda materia subtili Physicum circumspectum esse oportet.

instituantur, ad veritatem nobis pertingere licere: sed summâ circumspectio in hoc versari debet, ut nullam ejusmodi materiam subtilem, qualem animo concepimus, in mundo actu existere credamus, antequam certissimè habeamus exploratum, ejusmodi materiam non solùm esse possibilem, sed etiam cunctis phænomenis mechanicè explicandis esse aptam. Quamdiu autem nobis ad hunc certitudinis gradum pervenire non datur, ejusmodi hypotheses ita tolerari conveniet, ut ad res tantùm probabiles referantur.

Virtutem Magneticam à materia quadam subtili oriri ostenditur.

§. 9. Si hac jam adhibitâ cautelâ ad Magnetem revertamur, ejus effectus statim luculenter ostendunt, subsistere quoque extra Magnetem materiam quandam subtilem, quæ phænomenorum causam in se complectatur. Neque verò, dum hoc assumo, hypothesin mihi fingere videor: cùm enim eæ res, quæ in sensus incurrunt, his phænomenis producendis non sufficiant, necesse est ut à materia quadam subtili sensus nostros effugiente efficiantur: quod cùm à nemine in dubium vocari possit, concedi omnino debebit, ejusmodi materiam subtilem certissimè actu existere. Et quanquam plurimi, qui hanc de Magnete quæstionem sunt aggressi, voti non facti sunt compotes; tamen nullum in hoc deceptum esse arbitror, quòd materiam subtilem statuerit: sed potiùs, quòd quisque suo arbitratu naturam atque indolem hujus ipsius materiæ constituerit; cùm nihil aliud admittere debuissent, nisi quod ipsa phænomena hincque legitimè illatæ conclusiones inesse manifestò ostendissent. Quam regulam si omnes naturæ scrutatores diligentiùs observassent, scientia certè naturalis non tantopere erroribus ac tenebris scateret, ut, quid verum sit, quidve falsum, vix discernere liceat.

Principia præsentis theoriæ breviter ob oculos ponuntur, ac ratio instituti declaratur.

§. 10. Quo autem clariùs sententiam meam de causa virtutis Magneticæ exponam, primùm aperiam, quemadmodum equidem cùm structuram Magnetis ac ferri internam, tum indolem materiæ illius subtilis, cujus existentia jam est demonstrata, comparatam esse statuam. Deinde verò simul rationes afferam, cur hoc potiùs modo utriusque

statum

ſtatum concipi debere credam, quàm ullo alio; ſicque ſententiam, quæ initio, me non repugnante, inſtar hypotheſis ac meræ fictionis ſpectari poteſt, ita confirmabo, ut non ſolùm poſſibilis, ſed etiam veriſimilis videri incipiat. Tertiò autem fuſiùs explanabo, quomodo ex his poſitis principiis omnia atque ſingula Magnetis phænomena ſecundùm leges naturæ tam dilucidè conſequantur, ut etiamſi adhuc eſſent incognita, tamen per ſolam theoriam à priori prædici ac definiri queant. Quod ſi præſtitero, hypotheſis, quæ modò probabilis erat facta, ſummum probabilitatis gradum, hoc eſt, certitudinem plenam, nanciſcetur; atque adeo hypotheſis eſſe ceſſabit, in numerum rerum actu exiſtentium tranſitura. Hocque pacto nullum ampliùs ſupererit dubium, quin veram omnium Magnetis proprietatum aſſignavero cauſam. Quocirca Judices ab Illuſtriſſima Academia Regia conſtitutos rogo, ut has meas meditationes debitâ cum attentione legere atque examinare velint.

Magnetem ratione pororum à reliquis corporibus potiſſimùm diſcrepare.

§. 11. Quodnam ſit illud diſcrimen, quod Magnetem à reliquis corporibus diſtinguit, atque aptum reddit ad tam inſignes & mirabiles proprietates recipiendas, quæ in reliqua corpora, ſolo ferro excepto, nullo modo cadere queant, id quidem mihi per excluſionem certiſſimè definiri poſſe videtur. Cùm enim ad hæc phænomena producenda materia ſubtilis extra Magnetem ſubſiſtens requiratur, hujus reſpectu in ipſo Magnete nonniſi pororum, per quos materiæ ſubtili tranſitus vel concedatur vel denegetur, ratio haberi poterit. Quòd igitur Magnes tam ſingulari præditus ſit proprietate, id à configuratione pororum ejus venit, in qua propterea poſitum eſt illud, quod quærimus, diſcrimen Magnetem à reliquis corporibus diſtinguens. Quò diligentiùs autem omnes Magnetis effectus perpendimus, eò magis in hac ſententia confirmamur: maximè autem hoc elucet, ſi attendamus cum ferro per ſolum contactum virtutem Magneticam communicari poſſe; quo contactu cùm neque addatur neque auferatur quidpiam, neque etiam Magnes de ſua virtute quicquam amittat, nihil aliud reliquùm

eſt, cui effectum tribuamus, præter pororum conformationem, in qua igitur præcipuum diſcrimen Magnetis à reliquis corporibus eſt poſitum. Hanc eandem veritatem celeberrimus Muſchenbroeckius adeo agnoſcit, qui tamen conſtanter negat effectus Magneticos mechanicè explicari poſſe; qui cùm omnibus hypotheſibus bellum perpetuum indixiſſet, ejus teſtimonium, ſi ullo ad ſententiam corroborandam egerem, plurimùm ponderis habere debebit.

Solos poros non ſufficere ad phænomena producenda, ſed materiam ſubtilem præterea requiri.

§. 12. Hinc autem porrò ſolertiſſimus iſte obſervator rectè concludit, à ſola pororum figura ea phænomena, quæ in Magnete conſpicimus, minimè oriri poſſe; quod quidem ita certum eſt, ut nullâ probatione indigeat. Eatenus enim tantùm à poris effectus ſenſibilis reſultare poteſt, quatenus materiæ cuipiam fluidæ per eos vel tranſire vel non tranſire liceat. Quamobrem præter certam pororum Magnetis figuram neceſſariò ſtatui debebit materia quædam fluida, quæ cùm ſenſibus non percipiatur, jure merito ſubtilis vocatur, neque tamen ideò minùs certè exiſtit, quàm ſi ipſam manibus palpare liceret. In hoc enim negotio ſanè rationis judicium plus valere debet, quàm ſenſuum teſtimonium: quippe quòd niſi ſimul ratione ſuffulciatur, nullam omninò vim retinet; cùm contrà ratio etiam ſine ſenſibus ad profundiſſimas veritates penetrare valeat. Hoc igitur loco à Muſchenbroeckio diſſentire cogor, qui cùm pororum formas phænomenis producendis impares agnoviſſet, neque tamen ad ullam materiam ſenſus non afficientem confugere auſus eſſet, ſibi viam atque aditum ad cognitionem cauſæ penitùs præcluſit.

Pori Magnetis materiæ ſubtili non quaquaversùs tranſitum concedunt.

§. 13. Quemadmodùm igitur pori reſpectu iſtius materiæ ſubtilis ſint comparati, ante omnia eſt definiendum. Ac primò quidem perſpicuum eſt, ſi pori Magnetis penitùs eſſent impervii materiæ ſubtili, tum præcipua Magnetis phænomena, quæ in directione ſecundùm certam plagam conſiſtunt, nullo modo produci poſſe: foret enim Magnes utique ad omnes ſitus indifferens. Idem eveniret, ſi Magnes quaquaversùs materiæ ſubtili tranſitum liberrimè concederet;

pariter enim nulla esset causa, cur Magnes unum potiùs situm affectaret, quàm ullum alium, cùm in omni situ materia subtilis æque facilè permeare posset. Cùm itaque Magnes neque prorsùs impervius sit huic materiæ subtili, neque liberrimè transitum concedat; nil aliud reliquum est, nisi ut statuamus, Magnetem huic quidem materiæ transitum concedere, at non liberrimè, neque quaquaversùs æquali cum facilitate. Hoc modo jam consequimur id, in quo cardo rei versatur, quòd Magnes non ad omnes situs sit indifferens, sed perpetuò unum præ reliquis omnibus affectare debeat.

Materia subtilis secundùm unicam directionem per Magnetem fluere potest.

§. 14. Pori igitur, per quos materia subtilis fluere potest, in Magnete secundùm certam quandam directionem erunt dispositi, ita ut materia subtilis nonnisi secundùm hanc directionem corpora Magnetica permeare valeat. Talem structuram clarissimè evincit constans illa, quam Magnes affectare solet, directio: nisi enim in ipso Magnete pori ejusmodi constantem directionem sequerentur, ratio sanè foret nulla, cur Magnes unam præ reliquis positionem desideraret. Hinc igitur pori in Magnete secundùm certam ac determinatam directionem meatus seu canales efformare videri possent, qui materiæ subtili ita transitum præbeant, ut ea secundùm alias directiones permeare nequeat. Attamen hoc modo duæ remanerent directiones sibi è diametro oppositæ, ad quas Magnes induendas æquè proclivis esse deberet: concipiantur enim isti meatus secundùm directionem *AB* efformati; atque perspicuum erit, materiam subtilem æquè secundùm directionem *AB* atque contrariam *BA* per Magnetem fluere posse. Quod cùm experientiæ adversetur, quâ constat Magnetem seu acum Magneticam non in duplici situ quiescere posse; necesse est, ut isti meatus non sint utrinque similes, sed ita dissimiles, ut dum materiæ subtili transitum secundùm alteram directionem *AB* concedunt, eidem transitum secundùm contrariam directionem *BA* denegent.

Fig. I.

§. 15. Cùm igitur meatus Magnetici materiæ subtili

Structura meatuum Magneticorum, ex analogia determinatur.

transitum quidem permittant, reditum autem in eadem directione recusent, similes propemodùm erunt canalibus in corpore animali, qui in sua cavitate sanguinem aliaque fluida devehunt, regressum verò non admittunt, qui effectus valvularum ope obtinetur. Quoniam ergò natura in suis operationibus constantes observat leges, atque ad similes effectus producendos similibus perpetuò utitur causis, dubitare non licet, quin reversio materiæ subtilis in meatibus Magneticis per similem machinationem impediatur. Hanc ob causam leges naturæ atque adeò veritatem studiosissimè mihi quidem sequi videor, si meatus Magneticos similibus valvulis instructos statuam, quibus efficiatur, ut materia subtilis in *A* satis liberè intrare, & ad *B* exire queat, contra verò ipsi ad *B* ingressio & progressio versùs *A* per has valvulas præcludatur. Qua ratione autem hæ valvulæ sint constructæ, nosse non admodùm refert, dummodo regressui materiæ subtilis coercendo sint aptæ. Interim tamen verosimillimum est, eas à villis seu fibrillis tenuissimis internam meatuum cavitatem obsidentibus, atque ab *A* versùs *B* reclinatis efformari. Hujusmodi structura non solùm ob simplicitatem veritati maximè est consentanea; sed etiam per ea experimenta, quibus virtus Magnetica tam facilè produci iterumque destrui posse ostenditur, plenissimè confirmatur.

Fig. II.

Pororum conformatio in Magnete ac ferro, simulque in reliquis corporibus exponitur.

§. 16. Præcipuum igitur discrimen, quo Magnes ac ferrum à reliquis corporibus distinguitur, ita in pororum dispositione est positum, ut Magnetis & ferri Magneticâ virtute jam imbuti, pori constituant meatus utrinque quidem apertos, at valvulis seu villis ita instructos, ut materia subtilis ad alteram tantùm extremitatem intrare, & per totum meatum progressa in altera extremitate exire queat. In ferro autem virtutis Magneticæ experte insunt quidem pori illi fibrillis valvularum vices sustinentibus obsiti, verùm nondum ita ordinati, ut meatus continuos, in quibus fibrillæ illæ ubique secundùm eandem plagam sint reclinatæ, constituant. Hac corporum Magneticorum structurâ evictâ,

manifeſtum eſt, reliqua corpora omnia ejuſmodi poris ac meatibus carere debere; quamobrem vel quaquaversùs materiam illam ſubtilem liberrimè tranſire ſinunt, vel omninò ipſi erunt impervia. Experientia autem manifeſtò docet, materiam iſtam ſubtilem, à qua virtus Magnetica pendet, reliqua corpora omnia liberrimè permeare, propterea quòd effectus Magnetis à corporibus quibuſcunque interpoſitis prorsùs non impeditur, quod fieri non poſſet, niſi materia ſubtilis liberrimum tranſitum per omnia corpora non Magnetica inveniret.

Materia ſubtilis meatus Magneticos permeans, eſt pars ætheris.

§. 17. Quod porrò ad materiam illam ſubtilem attinet, quæ meatus Magneticos percurrendo virtutem magneticam dictam producat, eam primùm ab aëre eſſe diverſam, dubitari omninò nequit, cùm quòd ea reliqua corpora liberrimè permeat, tum verò maximè, quòd eadem Magnetis phænomena in vacuo obſerventur. In æthere igitur iſta materia ſubtilis reſideat neceſſe eſt, ſiquidem univerſum fluidum maximè elaſticum undique diffuſum ætheris nomine complectamur. Non ſolùm autem veriſimile eſt, univerſum ætherem non ex materia homogenea eſſe conflatum, ſed mox ex ipſis Magnetis phænomenis fuſiùs oſtendetur; duplicem ſaltem materiam, alteram craſſiorem, alteram ſubtiliorem in æthere ſtatui debere; quarum hæc tantùm, quæ eſt ſubtilior, per meatus Magneticos tranſire valeat, alterâ craſſiore penitùs excluſâ. Interim hoc diſcrimen non impediet, quominùs utraque materia ætheris æquali vi elaſticâ ſit prædita, ita ut univerſus æther hoc nonobſtante ubique eadem & æquabili elaſticitate gaudeat. Cùm igitur hæc hypotheſis nullam contradictionem involvat, ob mox allegandas rationes, ſtatuo præcipuam virtutis Magneticæ cauſam in ætheris parte ſubtiliſſima eſſe poſitam; atque meatus Magneticos tam eſſe arctos, ut iſtam partem ſubtiliſſimam tantùm tranſmittant, craſſioribus autem moleculis ſint impervii. Reliqua autem corpora omnia ætheri tranſitum liberrimè concedere, extra dubium eſt poſitum.

§. 18. Eſt itaque æther fluidum heterogeneum, ex

Materias ætheris diversas difficulter uniri.

particulis diversæ molis conflatum, simili modo, quo aërem ex diversis materiis compositum esse constat; nihilo verò minùs æther perinde ac aër, si variæ istæ particulæ æquabiliter fuerint inter se permistæ, fluidum homogeneum mentietur. Sin autem istæ materiæ à se invicem fuerint secretæ, tum utique fluida constituent heterogenea, quæ etiamsi ratione elasticitatis in æquilibrio consistant, tamen nonnisi difficulter rursùs inter se permiscentur. Similis scilicet conditio in omnibus fluidis, quæ ex moleculis diversæ magnitudinis constant, deprehenditur: quemadmodum in aqua & oleo, vel etiam in aëre & aqua manifestum est; quæ materiæ etsi in debita ratione permistæ consistere possunt, tamen à se invicem segregatæ difficulter se iterùm permisceri patiuntur. Hìc itaque nihil assumo, nisi quod cùm veritati maximè sit consentaneum, tum verò etiam constanter à natura effici observetur. Quamobrem hanc mihi hypothesin concedi jure equidem postulare possem, etiamsi nullas præterea rationes afferrem; cùm autem clarissimè sim ostensurus, omnia Magnetis phænomena tam facilè ac legibus naturæ convenienter hinc explicari posse, hanc indolem ætheris etiam demonstrasse jure mihi videbor.

Principia theoriæ Magneticæ traduntur.

§. 19. Hæc jam sunt duo illa principia, in quibus conjunctis causa omnium effectuum Magneticorum continetur, quorum alterum in peculiari Magnetis ac ferri structura est positum, alterum verò in ætheris natura. In Magnete nimirùm plurimi insunt meatus filamentis quasi valvulis obsiti, per quos subtilissimæ ætheris particulæ transire queant, crassiores verò penitùs excludantur. Quoniam verò non totus Magnes hujusmodi habet structuram, ut ipsi nihil cum reliquis corporibus sit commune, præter hos meatus Magneticos aliis quoque poris amplioribus scatebit, qui non solùm materiæ ætheris subtiliori, sed etiam crassiori, liberum transitum concedant. Ætheris porrò indoles faciliùs percipietur, atque adeo mechanicè explicari poterit, si eum ex infinitis vorticulis, in quibus materia subtilissima rapidissimè in gyrum agatur, compositum concipiamus, cujusmodi structuram

ſumma ætheris elaſticitas declarat. Spatia autem anguloſa, quæ inter iſtos vorticulos relinquuntur, ab aliis vorticulis longè minoribus occupari veroſimillimum eſt: atque hi vorticuli minores materiam illam ætheris ſubtiliorem meatus Magneticos percurrentem exhibere mihi quidem videntur. Hinc autem difficultas, quâ iſti minores vorticuli, ſi à reliquo æthere ſemel ſint ſeparati, ſe iterùm inſinuent, perſpicuè intelligitur.

§. 20. Hiſce duobus ſtabilitis principiis, videamus quid ex iis conjunctis conſequi debeat. Ac primò quidem manifeſtum eſt, præter Magnetem omnia corpora in æthere nullum ſenſibilem effectum eſſe productura, cùm neque quieti neque motui ejus obſiſtant, ita ut æther in eodem ferè ſtatu ſit permanſurus, ſive inſint in ipſo corpora non Magnetica, ſive minùs. At verò corporum Magneticorum æthere circumdatorum longè alia erit ratio, propter illos meatus, qui in altero tantùm termino parti ætheris ſubtiliori introitum permittunt; ob quam ſingularem ſtructuram fit, ut æther hæc corpora ambiens in æquilibrio eſſe nequeat. Propter ſummam enim elaſticitatem æther in hiatus iſtorum meatuum fortiſſimè premet; & quoniam à parte oppoſita hæc preſſio compeſci nequit, neceſſe eſt, ut particulæ ætheris ſubtiliores in meatus illos Magneticos, quà introitus patet, ingenti vi irrumpant; quo pacto ætheris partes ſubtiliores à craſſioribus ſecernentur. Tum verò hæ particulæ penetratis meatibus in alteris terminis prorumpent, ubi quia ſeſe cum æthere ambiente ſubitò permiſceri non patiuntur, quaſi à fluido heterogeneo reflectentur, motumque, quà minimè reſiſtitur, tam diu conſervabunt, quoad ab æthere ambiente ſenſim abſorbeantur, ſinibuſque angulorum iterùm includantur.

Effectus materiæ ſubtilis in Magnetem generatim exponitur.

§. 21. Quò hæc, quippe in quibus omnis cardo præſentis quæſtionis verſatur, diligentiùs evolvantur, ordiamur ab ipſa terra tanquam fonte & communi receptaculo, tàm Magnetis quàm ferri. Abundabit ergò terra, propter ingentem mineræ tam Magnetis quàm ferri copiam in viſceribus

Vortex Magneticus circa terram efformari debuit.

inclusam, maximè talibus meatibus, quales in unoquoque Magnete inesse ostendi. Et hanc ob rem quamprimùm terra initio ætheri fuerit circumfusa, necesse est, ut materia illius subtilior hos terræ meatus Magneticos statim sit ingressa; id quod maxima cum celeritate est factum, quia in has cavitates quasi in loca vacua summâ vi irrupit. Tantâ ergò celeritate emensis singulis meatibus, materia hæc subtilis in ætherem ambientem prosiluit; ab eoque tanquam ab obice firmo est reflexa, simili modo ferè quo aër contra aquam fortissimè impulsus repercutitur, atque ad latera deflectitur. Quare hæc materia, quà minimam invenit resistentiam, moveri perrexerit necesse est; ad latera autem defluere debuit, quoniam reverti, unde venerat, tam ob structuram meatuum, quàm ob materiam simili vi insequentem minimè potuit. Facilè igitur ad latera defluens ad orificia meatuum revertetur, in quæ initio intraverat; ubi non solùm nullam resistentiam offendet, sed quia liberrimè ingredi potest, eò undequaque pressa quasi attrahetur. Cùm igitur fuerit denuò in hos meatus ingressa, atque simili modo reverti debeat, mox flumen continuum seu vorticem perennem circa terram formare debuit; propterea quòd materia subtilis ex meatibus erumpens vestigia antecedentis continuò sequendo quasi sponte ad orificia meatuum perducitur, hocque motu periodico sine ulla intermissione agitatur.

Fig. III. Formatio vorticis circa terram existentis uberiùs explicatur.

§. 22. Si igitur globus *AB* repræsentet tellurem, in qua meatus Magnetici ab *A* ad *B* sint dispositi, ita ut materia ætheris subtilior ad *A* ingrediatur, in *B* verò exeat; tum ob rationes expositas materia subtilis ad *B* erumpens utrinque deflectet, atque ad *C* & *D* circumfluendo revertetur ad *A*, ubi denuò in meatus Magneticos intrabit, sicque vorticem permanentem circa terram constituet. Neque tamen perpetuò eadem materia ætheris subtilior ad hunc vorticem formandum impendetur; sed in *C* & *D* continuò quædam particulæ cum æthere circumfuso sese permiscebunt; quæ jactura autem statim per novam similis materiæ subtilioris ab æthere secretionem ad *A* factam resarcietur: ita ut non obstante perpetuâ

perpetuâ permixtione, quæ fit, dum materia ſubtilis extra meatus per ætherem revolvitur, vortex tamen perennis conſervetur. Erunt igitur A & B ambo terræ poli Magnetici, qui cùm à diſpoſitione meatuum Magneticorum AB pendeant, neque cum veris terræ polis ſingularem habeant connexionem, mirum non eſt, quòd poli Magnetici à polis mundi diſcrepent, unde declinationis Magneticæ cauſa potiſſimùm originem trahit; quæ autem in ſequentibus accuratiùs perpendetur.

Cauſa gravitatis indicatur.

§. 23. Quoniam ſi terra tolleretur, æther in regione $ACBD$ ferè quieſceret, quæſtio ſponte ſe offert, unde, terrâ in AB conſtitutâ, tam vehemens motus in materia ætheris ſubtiliori oriatur; conſtat enim motum ſine diſpendio virium omninò produci non poſſe. Cùm igitur demonſtraverim, iſtum motum à vi ætheris elaſtica generari, neceſſe eſt, ut hæc vis elaſtica circa terram ſenſibiliter diminuatur; atque ſatis probabile videtur, hanc diminutionem vis elaſticæ reciprocè proportionalem eſſe diſtantiis à centro terræ. Hoc autem conceſſo, cauſa gravitatis tanto ſtudio inquiſita, fit maximè obvia. Sit enim corpus Pp ad diſtantiam OP à centro terræ O poſitum, cujus craſſities Pp reſpectu diſtantiæ OP quaſi ſit nulla. Quòd ſi jam vis ætheris elaſtica abſoluta ponatur $= E$, erit hæc vis diminuta in $P = E - \frac{A}{OP}$ & in $p = E - \frac{A}{Op}$. At illâ vi corpus deorsùm, hac verò ſursùm urgetur, unde vis prævalens, quæ corpus deorsùm urgebit, erit $= \frac{A}{Op} - \frac{A}{OP} = \frac{A.\,Pp}{Op.\,OP}$, ideoque proportionalis reciprocè quadrato diſtantiæ corporis à centro O. Hìc autem locus non eſt hæc fuſiùs perſequendi, ac pro rei dignitate confirmandi; interim tamen hæc tranſitio plurimùm valere debebit ad theoriæ præſentis veritatem evincendam, propterea quòd ſolius veritatis hoc eſt proprium, ut cum omnibus phænomenis perfectiſſimè conveniat. (Fig. IV.)

Gravitas univerſalis corporum mundanorum explicatur.

§. 24. Cùm igitur gravitas inde oriatur, quòd in vicinia terræ vis ætheris elaſtica debilitetur ob vorticem Magneticum

circa terram formatum, perquàm verisimile est Solem atque Planetas pariter ejusmodi meatibus Magneticis abundare; hincque circa corpus cujusque similem vorticem materiæ ætheris subtilioris existere, quo vis elastica ætheris in vicinia horum corporum pro inversa distantiarum ratione diminuatur, sicque gravitas universalis rationem distantiarum inversam duplicatam sequens efficiatur. Hæc certè gravitatis explicatio, sicuti quasi sponte se obtulit, ita statim omnibus reliquis explicationibus, quæ adhuc sunt excogitatæ, facilè palmam præripit; quia non solùm tantis difficultatibus, quàm reliquæ, non premitur, sed etiam tam facilè atque naturæ convenienter omnia phænomena felicissimè explanat. Non dubitarim quoque ex hoc eodem principio causam virtutis electricæ dilucidè explicare; verùm quoad hæc mihi fusiùs evolvere liceat, in eum tantùm finem hìc annotare visum est, quò veritas systematis, in quo corroborando sum occupatus, eò magis eluceat, atque adversùs omnes objectiones, quas equidem non admodùm pertimuerim, firmiùs consistat.

Vorticis Magnetici motus curatiùs definitur.

Fig. III.

§. 25. Quod igitur ad vorticem illum materiæ subtilis circa terram formatum attinet, statim manifestum est celeritatem materiæ subtilis in meatibus AB, ubi à reliquo æthere omninò est separata, esse maximam, ideo quòd à summâ vi elasticâ sollicitata in his meatibus ferè nullam sentit resistentiam. Quando verò ad B ex his meatibus prorumpit, & ab æthere circumfuso quasi reflectitur, & directionem suam ad latera C & D inflectere cogitur, tum ejus celeritatem vehementer diminui oportet. Hanc ob causam flumen materiæ hujus subtilis extra terram plurimùm amplificabitur, perindè ac fluvius ubi minore celeritate progreditur, in majus spatium se simul expandit ita ut in quovis loco celeritas sit amplitudini spatii quod occupat, reciprocè proportionalis. Huc autem accedit, quòd cum hac materia subtiliori extra meatus Magneticos mota, non exigua ætheris naturalis portio permisceatur; quò fit, ut volumen vorticis extra terram eò magis augeri, contrà verò celeritas diminui debeat.

§. 26. Rationes igitur hæ satis clarè evincunt, motum materiæ subtilis cum reliquo æthere jam permixtæ admodùm lentum esse debere: quocirca ab hoc vortice, quamvis motus sit curvilineus, tamen nulla sensibilis vis centrifuga, quâ effectus gravitatis turbari queat, se manifestare poterit. Hoc igitur maximè mea explicatio tam virtutis Magneticæ, quàm gravitatis atque adeo attractionis universalis, à reliquis se distinguit, quòd dum alii omnes vires in vi centrifuga positas statuant, ego huic vi nullas vices tribuam, sed hæc omnia phænomena à sola vi elastica ætheris derivem, unde simul corporum cohæsionem ac duritiem pendere, omninò dubitari nequit: quo ipso theoriæ meæ maximum firmamentum accedere nemo inficiabitur. Appellabo autem in posterùm materiam illam ætheris subtiliorem meatus Magneticos pervagantem, distinctionis causâ, materiam Magneticam; quæ cùm in æthere naturali satis raрò sit dispersa, tamen in vicinia terræ in majori portione cum æthere erit permixta, eò quòd continuò per meatus Magneticos à reliqua ætheris massa secernitur. Hanc ob rem universa terra circumfusa erit fluxu perpetuo ætheris multò majori copiâ materiæ Magneticæ imprægnati, quàm quidem in aliis regionibus à terra aliisque corporibus mundanis multùm remotis in se complecti solet.

Status ætheris terram ambientis exponitur.

§. 27. Si jam originem meatuum Magneticorum in terra formatorum spectemus, perinde erit sive dicam eos simul cum terra esse creatos, sive successu temporis demùm ab ipsa materia Magnetica effectos: verumtamen posterius veritati magis videtur consentaneum. Cùm enim isti meatus constent poris Magneticis secundùm certam directionem dispositis atque valvulis instructis, etiamsi hi pori initio nondum ita fuissent ordinati, tamen quia sunt mobiles, à materia Magnetica, cùm semel fuerit ingressa, facilè secundùm certam directionem disponi, sicque in meatus continuos efformari potuerunt. Magna namque debet esse vis materiæ Magneticæ, cùm semel poros corporum Magneticorum intrare cœperit, ob summam celeritatem, quâ tum

Origo meatuum Magneticorum traditur.

movetur; hacque vi, si percurso quopiam spatio poros minùs congruè dispositos offenderit, eos facilè ad ordinem dirigere, atque filamenta tenuissima, quibus pori sunt obsiti, ita inflectere valuit, ut meatus continuos constituerent. Statuendum igitur est, id quod verisimillimum aliundè constat, per totam terram corpora Magnetica continuo tractu & extitisse & etiamnunc existere; neque tamen hinc sequitur meatus Magneticos ubique secundùm lineas rectas progredi, sed sufficit, dummodo ab uno termino ad alterum sint continui. Multò minùs ex his colligi potest polos Magneticos terræ sibi è diametro esse oppositos; quin potiùs fieri potest, ut in terra plures duobus poli Magnetici existant, de quo infrà videbo. Interea hinc satis tutò concludere licet, quoniam meatus Magnetici per terræ viscera continuo tractu extenduntur, terram intùs non esse excavatam, utì nonnullis Philosophis est visum.

Meatus Magnetici in terra sunt mutabiles.

§. 28. Meatus isti Magnetici in terra semel efformati perpetuò in eodem statu permanere deberent, si quidem terra quiesceret, neque in visceribus ejus ulla sive destructio sive generatio corporum Magneticorum eveniret. Cùm autem terra ingentibus mutationibus, etiam in imis visceribus, sit obnoxia, meatus Magneticos hinc quoque aliquam alterationem perpeti debere, maximè probabile est. In primis verò motus terræ diurnus non exiguam mutationem in meatibus Magneticis producere debebit. Quia enim terra intervallo unius diei circa axem suum ab occasu in ortum rotatur, effectus ætheris idem erit, ac si terra quiesceret, æther autem æquali celeritate ab ortu in occasum circumferretur. Ob hunc motum æther in meatus Magneticos obliquè incurrens vim exercebit ad meatuum directionem immutandam, hincque polos terræ Magneticos ab ortu ad occasum promovendos. Quoniam verò pori Magnetici facilè se mutari patiuntur, utì ex ferri phænomenis concludere licet, ejusmodi polorum Magneticorum variatio successu temporis actu animadverti debebit; eritque iste effectus eò sensibilior, quò longiùs poli Magnetici à polis mundi fuerint

remoti. Ex his itaque cauſa vera mutabilitatis polorum Magneticorum terræ, hincque oriundæ mutabilitatis declinationis Magneticæ clariſſimè explicatur.

§. 29. Quanquam hactenùs duorum tantùm polorum Magneticorum terræ mentionem feci, tamen ex iiſdem principiis facilè intelligitur, ſtructuram terræ internam ita comparatam eſſe poſſe, ut plures polos exhibeat: atque adeo Halleii ſyſtema cum hac theoria egregiè conſiſtere poſſit, qui prope utrumque polum mundi binos polos Magneticos ſtatuit. Si enim terra circa centrum & axem per notabile intervallum Magneticis corporibus careat, ita ut meatus Magnetici *A B* & *a b* ſenſibiliter ſint à ſe invicem ſejuncti, tum poli *A* & *a*, itemque ex altera parte *B* & *b*, confundi atque unum polum conſtituere non poterunt; ſed quatuor polos diverſos repræſentabunt, qui à polis mundi *P* & *p* vel æqualiter vel inæqualiter diſtabunt, prout directiones meatuum fuerint axi *Pp* parallelæ vel ſecùs: atque ipſa ſyſtemata meatuum *A B* & *ab* magis minuſve ab axe ſint remota. Cùm autem hæc ab interna conſtitutione terræ pendeant, à priori minimè determinari poterunt, ſed ex ipſis phænomenis concludi debent; quod negotium obſervationes circa declinationem & inclinationem acûs Magneticæ inſtitutæ potiſſimùm conficient. Sufficiat igitur poſſibilitatem plurium polorum Magneticorum in terra oſtendiſſe; atque ex theoria docuiſſe, hos polos propter motum vertiginis terræ continuò ab ortu in occaſum circumferri debere, quod ipſum cum experientia mirabiliter concordat in hoc hæmiſpherio, dum repugnat in altero.

In terra plures duobus poli Magnetici ineſſe poſſunt.

Fig. V.

§. 30. Hæc in genere de univerſa tellure, quatenùs virtute Magneticâ pollet, annotare viſum eſt, antequàm theoriam in ſpecie ad Magnetem ac ferrum applicarem: quoniam virtus Magnetica, quæ in Magnete ac ferro deprehenditur, maximam partem vortici illi materiæ Magneticæ circa terram formato originem ſuam debet. Etſi enim in unoquoque Magnete, ſi à terra remotus in æthere verſaretur, ſimilis materiæ ſubtilis motus periodicus, & quaſi vortex, naſci

Virtus ſingulorum Magnetum à vortice terræ potiſſimùm oritur.

deberet, tamen is cùm ob corporis parvitatem, tùm propter meatuum paucitatem, reſpectu vorticis terreſtris maximè debilis atque adeo vix foret ſenſibilis. Sin autem Magnes jam in vortice terræ ſit conſtitutus, multò majorem acquiret virtutem; propterea quòd materia Magnetica hoc loco valde abundat, neque demùm à reliquo æthere ſecerni debet. Tum verò, in quo maximum poſitum eſt momentum, materia Magnetica in vortice terræ jam motu eſt prædita, quò fit, ut non ſolùm in meatus Magneticos majori vi irrumpat, ſed etiam hos meatus ſecundùm ſuam motûs directionem diſponere valeat. Unde in Magnete vis ſeſe versùs certas plagas convertendi naſcitur, quæ prorsùs abeſſet, ſi Magnes in æthere adhuc quieſcente verſaretur, quippe quo caſu Magnes ad omnes ſitus foret indifferens. Hunc igitur duplicem vorticis terræ effectum in ſingulos Magnetes diligentiùs perpendere conveniet, ut intelligatur cujuſmodi phænomena in unoquoque Magnete ſolitario evenire debeant: quo facto, quemadmodùm plures Magnetes tùm inter ſe, tùm ratione ferri, affecti eſſe debeant, inveſtigabo.

Circa ſingulos Magnetes vortex Magneticus generatur.

§. 31. Cùm igitur materia ſubtilis Magnetica in æthere terræ circumfuſo ingenti copiâ abundet, in cujuſque Magnetis meatus magnâ vi irrumpet, atque ob ſummam ætheris elaſticitatem vehementi rapiditate per eos fluet. Tantâ igitur celeritate ex his meatibus quoque prorumpet, quàm, cùm reſiſtentiam ætheris conſervare nequeat, primùm ipſa celeritas ſtatim diminuetur, tùm verò directio ad latera inflectetur, atque ſtatum permanentem quærendo, tandem ita motum temperabit, ut ad orificia meatuum revertatur. Continuo ergò tranſitu per meatus atque reditu vortex omninò ſimilis ei quem circa terram generatum eſſe oſtendi, circa ſingulos Magnetes efformabitur. In hujuſmodi autem vortice minore unum Magnetem ambiente materia ſubtilis Magnetica multò inerit copioſior, quàm in vortice terreſtri, eò quòd non ſolùm eadem materiæ Magneticæ copia adeſt, ſed etiam per meatus Magnetis continuò nova ſecretio iſtius materiæ ſubtilioris ætheris à craſſiore accedit. Quare

cùm virtus Magnetica à copia materiæ Magneticæ in quovis vortice contentæ pendeat, circa Magnetes hæc virtus multò magis vigebit, quàm circa terram; atque ob hanc rationem virtus Magnetica terræ generalis etiam à minimo Magnete facilè feparatur: quod quamvis per experientiam fit notiffimum, tamen clariùs perfpicietur, fi in effectus virtutis Magnetis, qui in mutua attractione & directione confiftunt, datâ operâ inquiremus.

Magnes non poteft effe ad omnes fitus indifferens.

§. 32. Si materia fubtilis Magnetica circa terram quiefceret, tum ob fummam elafticitatem irrumperet quidem in cujufque Magnetis meatus, vorticemque formaret; verùm nullam prorsùs vim exereret ad Magnetem fecundùm certam plagam dirigendum, cùm Magnes utcunque pofitus eodem modo refpectu materiæ fubtilis fit affectus, neque vis ætheris elaftica quicquam lucraretur, fi Magnetem in hanc potiùs quàm aliam plagam dirigeret. Eft autem hæc lucri commemoratio non vox inanis; verùm in univerfa rerum natura maximum habet pondus: ubique enim obfervamus vires in mundo exiftentes nil nifi lucri causâ facere, atque effectum femper ita effe comparatum, ut eo conatus & quafi appetitus virium follicitantium maximè expleatur. Sic funis fufpenfus, feu catena, eam induit curvaturam, ut ejus centrum gravitatis infimum occupet locum; quoniam hoc modo conatus gravitatis maximè expletur. Atque ex hoc principio omnes quæftiones naturales, etiamfi via eas à priori refolvendi nulla pateat, tamen per methodum maximorum ac minimorum feliciffimè refolvi poffunt; id quod pluribus exemplis jam luculenter à Geometris eft oftenfum, atque multis aliis novis oftendi poffet. Quamobrem fi in determinatione effectûs à materia Magnetica in meatus incurrente oriundi, à qua mihi ob defectum principiorum fubinde hæreat, ifte defectus per illud principium univerfale convenientiffimè fupplebitur, neque ullum erit periculum ob ignorantiam principiorum genuinorum in errores prolabendi. Quin etiam hoc modo plures aliàs tædiofi calculi evitari poffunt.

Directio Magnetis convenire debet cum motu materiæ Magnetic.

§. 33. Ex hac naturæ lege universali dijudicare licet, quomodo Magnes in vortice terrestri Magnetico positus affici debeat. Ac primò quidem si à motu hujus materiæ subtilis abstrahamus, ea, utì jam est ostensum, in meatus Magnetis penetrabit, & vorticem circa Magnetem efformabit, qui multò magis materiâ subtili Magneticâ abundabit, quàm vortex terrestris in quo continetur. Quod autem ad motum vorticis terrestris attinet, perspicuum est, si directio meatuum Magnetis ita congruat cum motu materiæ subtilis, ut etiam cursum non inflectendo in meatus ingredi possit, tum motum fore celerrimum, & penetrationem meatuum minimâ difficultate perfici; quoniam & vis elastica & motus in materia subtili jam insitus ad eundem effectum producendum concurrunt. Cùm igitur in hoc statu maximus effectus producatur, dubium est nullum, quin vortex terræ Magneticus vi sit præditus Magnetes quosvis in hanc ipsam directionem, in qua effectus oriatur maximus, dirigendi. Atque hoc æque certè evenire debere statuendum est, ac si ipsæ vires, quibus ista directio efficiatur, perfectissimè essent cognitæ. Quamvis autem in hac ratione acquiescere possemus, tamen quia in hac Magnetum conversione omnis theoriæ cardo versatur, operam dabo, ut clariùs intelligatur, quomodo iste effectus secundùm leges mechanicæ producatur; quò magis ex consensu causæ finalis cum causa efficiente veritas theoriæ perspiciatur atque confirmetur.

Conversio Magnetis versùs certam plagam mechanicè explicatur.

Fig. VI.

§. 34. Consideremus unicum meatum Magneticum in vortice terrestri liberè positum; quod enim in uno meatu evenire debere ostendetur, idem in pluribus atque ideo in integro Magnete usuvenire debet. Teneat igitur meatus Magneticus situm AB, atque materia subtilis vorticosa hoc loco moveatur secundùm directionem AC, cujus celeritas per hanc rectam AC exprimatur, ita ut directio meatûs AB cum directione motûs materiæ subtilis angulum constituat BAC; qui angulus si foret nullus, dubium non est, quin meatus in hoc statu permansurus esset. Consideretur

nunc

nunc celeritas, quâ materia ſubtilis Magnetica in meatum eſſet irruptura, ſi quieſceret, & à ſola elaſticitate urgeretur, & repræſentetur hæc celeritas per rectam AB. Quoniam igitur materia ſubtilis, & proprium habeat motum AC, & ad motum AB ſuſcipiendum ſollicitetur, duplici hoc motu efficietur, ut materia ſubtilis annitatur promoveri ſecundùm directionem diagonalis AD, completo parallelogrammo $ABDC$, cum celeritate per ipſam diagonalem AD expreſſa. Ex hoc conatu ſecundùm directionem AD movendi, naſcitur neceſſariò vis meatum verſùs hanc ipſam directionem convertendi, quæ vis, cùm à celeritate ipſa AD, tum ab angulo BAD, pendebit. Cùm igitur meatus AB in A urgeatur in directione AD; reſolutâ hac vi in normalem ad AB & incidentem, illa, quæ erit ut AD. ſin. BAD, exhibebit vim convertentem. Quare cùm ſit ex trigonometria $AD : AC =$ ſin. BAC : ſin. BAD, erit AD. ſin. $BAD = AC$. ſin. BAC; & hanc ob rem vis meatum AB verſùs directionem vorticis AC convertens erit ut AC. ſin. BAC.

§. 35. Hinc ergò erit vis, qua meatus Magneticus AB verſùs directionem vorticis AC inflectitur, in ratione compoſita ex celeritate materiæ vorticoſæ AC & ſinu anguli BAC, quo ſitus Magnetis à directione AC diſſidet. Cùm igitur celeritas materiæ vorticoſæ AC maneat quaſi eadem, meatus Magneticus quieſcere non poterit, niſi cùm fuerit ſinus anguli $BAC = 0$; quod quidem duobus caſibus fit, altero quo angulus $BAC = 0$, altero quo $BAC =$ duobus rectis. Quamvis autem hoc poſteriori caſu quieſcere poſſit, tamen hìc non dabitur ſtatus quietis permanens, ſed quamprimùm meatus vel tantillum ab hoc ſitu declinatur, tum ſeſe in alterum æquilibrii ſtatum permanentem, ubi $BAC = 0$, recipiet, ubi acquieſcere poterit. Maximè autem in hunc ſitum contendet, ſi ab eo ad angulum rectum diſtet, hoc eſt, ſi angulus BAC fuerit rectus, tum enim hujus anguli ſinus fit maximus, quippe ſinui toti æqualis. Sin autem angulus BAC fuerit ſive acutus ſive obtuſus, vis

Vis Magnetẽ convertens determinatur.

erit minor. Præterea autem notandum eſt, quoniam non omnis materia ætheris circumfuſi per meatum tranſire poteſt, ſed tantùm ejus pars ſubtilior, quam materiam Magneticam voco, etiam copiam hujus materiæ in ſuperiorem expreſſionem *A C*. ſin. *B A C* eſſe introducendam: ita ut ſit vis convertens proportionalis producto ex copia materiæ Magneticæ circa Magnetem exiſtentis, ejus celeritate, & ſinu anguli, quo directio meatûs à directione motûs vorticis diſtat.

Magnetum anomalorum ratio explicatur.

§. 36. Quilibet igitur Magnes, qui habet meatus ſuos inter ſe parallelos & ferè in directum diſpoſitos, eum in vortice ſitum affectabit, ad quem unumquemque ſimplicem meatum urgeri oſtenſum eſt. Scilicet talis Magnes, niſi ab aliena vi retineatur, vel à gravitate impediatur, in eum ſitum ſe componet, in quo directio meatuum cum directione motûs vorticis ita conſentiat, ut materia ſubtilis ſine ulla motûs ſui inflexione in meatus intrare poſſit. Hinc autem excludendi ſunt Magnetes compoſiti & quaſi anomali, vel ex pluribus Magnetibus ſimplicibus conſtantes, vel in quibus meatus nec inter ſe ſunt paralleli, nec in directum formati. Hujuſmodi Magnetes idcircò plerumque plures duobus habent polos, ſimili modo, quo terram quatuor polis præditam eſſe obſervationes declarare videntur. Quin etiam numerus polorum in eodem Magnete impar eſſe poteſt, quod evenit, ſi meatus, qui in altera extremitate disjuncti plures polos conſtituunt, iidem in altero termino uniuntur, unicumque polum efformant. Sic Magnes *A B b*, in quo meatus ad *A* uniti, versùs *B* & *b* dirimuntur, tres habebit polos in *A*, & *B* ac *b*, quorum quiſque eò erit fortior, quò plures meatus ad eum formandum concurrunt. Atque hinc etiam fieri poſſe intelligitur, ut unus tantùm polus diſtinctus in Magnete deprehendatur, quod eveniet, ſi meatus ad *A* concurrentes versùs alteram extremitatem ita divergant, ut nuſquam tot coeant, quot ad polum diſtinctum repræſentandum requiruntur. Cujuſmodi igitur ſitum tales Magnetes anomali in vortice terræ affectare debeant, facilè

Fig. VII.

colligere licet; cùm enim ſinguli meatus ſitum intentum recipere nequeant, omnes conjunctim ejuſmodi ſitum medium eligent, in quo vires dirigentes ſe mutuò in æquilibrio teneant.

§. 37. Cùm ergo Magnetes anomali nullum ampliùs negotium faceſſant, ſi Magnetum ſimplicium, in quibus meatus curſu parallelo ab uno termino ad alterum in directum extenduntur, duoſque polos diſtinctos exhibent, ratio fuerit expoſita, ad hujuſmodi Magnetes potiſſimùm ſpectabo. Magnetem ſcilicet ſum conſideraturus omni ferè craſſitie carentem, in quo meatus arctiſſimè uniti ab uno termino ad alterum ſecundùm lineas rectas excurrunt, atque adeo acui Magneticæ perfectè ſimilem. Quare cùm acus Magnetica ratione virtutis à Magnete non diſcrepet, nihil impediet, quominùs in hoc negotio pro Magnete acum Magneticam ſubſtituam, quoniam in ea directio multò clariùs percipi poteſt, quàm in Magnete plerumque difformi. Sit igitur hujuſmodi acus Magnetica etiam gravitatis expers, ſeu ita ſuſpenſa, ut ſeſe liberrimè in eum ſitum, quem vortex terreſtris intendit, recipere poſſit. Sint igitur *A* & *B* duo terræ poli Magnetici ſibi è diametro oppoſiti, in quorum altero *A* materia ſubtilis terræ meatus ingrediatur, in altero verò *B* iterùm prorumpat. Quanquam autem difficile eſt determinatu, uter horum polorum Boreæ vel Auſtro reſpondeat, quoniam uterque eadem phænomena producit, tamen ne ambiguitas confuſionem pariat, citra errorem hoc dubium tollere licebit. Aſſumam itaque illum terræ polum *A*, ubi materia Magnetica in meatus irrumpit, circa Auſtrum eſſe poſitum, alterumque *B* materiam ſubtilem evomentem in regione Boreali conſtitui. Erit enim *B* polus terræ Magneticus Borealis, *A* verò Auſtralis; neque enim hîc plures polos, etſi adſint, conſideraſſe opus eſt, cùm quod de duobus demonſtrabitur, idem facilè ad plures transferri queat. In figura porrò interior circulus nucleum terræ, in quo vim Magneticam maximè vigere probabile eſt, repræſentat, exterior verò ipſam terræ ſuperficiem, inter quam

Acûs Magneticæ directio in vortice terreſtri indagatur.

Fig. VIII.

& nucleum crusta terræ superior continetur, ob plurima corpora heterogenea multò minore virtute prædita.

Acûs Magneticæ declinatio explicatur.

§. 38. Quanquam lineas illas curvas, per quas materia subtilis ex polo *B* egressa ad polum *A* revertitur, definire non ausim, tamen manifestum est, motûs directionem in ipsis polis *A* & *B* esse verticalem, in locis autem intermediis *C* & *D* horisontalem, quæ loca quasi æquatorem Magneticum exhibebunt : unde quò magis ad polos *A* & *B* accedatur, eò major proditura sit inclinatio directionis materiæ subtilis ad horisontem. Hæc autem generalis motûs idea ad præsens institutum sufficiet, quoniam specialis cognitio ob summam irregularitatem ne quidem sperari potest. Si igitur acus Magnetica *ab*, in qua sit *a* polus materiam Magneticam deglutiens, *b* verò polus eructans, in loco quocunque vorticis terrestris versetur, ea ita disponi debebit, ut ejus polus *a* materiæ subtili ingressum præbens polum terræ *B* naturæ contrariæ, unde materia subtilis advehitur, spectet, alter verò polus *b* ad terræ polum *A* vergat, eruntque adeo poli diversæ naturæ sibi amici, ejusdem autem naturæ inimici. Versabitur ergo acus Magnetica primùm in circulo verticali per polos terræ Magneticos transeunte, cujus à meridiano vero distantia in quovis terræ loco exhibebit declinationem Magnetis. Præterea verò nisi acus versetur in æquatore Magnetico *CD*, ad horisontem inclinabitur, atque in hemisphærio quidem Boreali *CBD* acus terminus *a* Boream spectans infra horisontem deprimetur, in altero autem hemisphærio supra horisontem elevabitur : quæ inclinatio ad horisontem eò erit major, quò propiùs ad polos Magneticos *A* vel *B* acus admoveatur. Quamobrem ex declinatione & inclinatione acûs Magneticæ in quovis loco terræ directio cursùs materiæ subtilis Magneticæ cognosci poterit.

Phænomena acûs Magneticæ à priori difficulter definiri possunt.

§. 39. Si igitur terra duos tantùm haberet polos Magneticos sibi è diametro oppositos, tum ex factis aliquot observationibus non adeo difficile foret, pro quovis terræ loco tam declinationem quàm inclinationem acûs Magneticæ à

priori assignare. Verùm cùm probabile sit, terram quatuor polis Magneticis gaudere, quorum bini neque sint sibi è diametro oppositi, neque à polis mundi æqualiter distent, tum multò magis arduum erit positionem acûs Magneticæ in quovis loco definire; quoniam comparatio virium, quibus versùs singulos polos urgetur, hincque resultans media directio nonnisi summâ cum difficultate suscipi posset. Primùm enim ipsi poli Magnetici sine dubio dissimili virtute sunt præditi, unde fit ut etsi acus à binis æqualiter distet, tamen disparibus viribus ad utrumque dirigatur. Tum verò, quia ipsa vis, quò propiùs ad quemque polum accedatur, ob majorem materiæ Magneticæ copiam major evadit, hoc ipsum incrementum ac decrementum ante nosse oporteret, quàm quicquam concludi possit. Ob hunc ergo defectum nihil adhuc certi à priori definire licet; neque verò hoc ad theoriæ confirmationem quicquam conferret, cui unicè me immorari debere ipsa quæstionis propositio jubet. Ex his autem, quæ hactenùs dicta sunt, abundè ratio constat, tam declinationis & inclinationis acûs Magneticæ, quàm harum ipsarum rerum mutabilitas, quæ successu temporis ubique deprehenditur, quippe cujus causa in promotione ipsorum terræ polorum Magneticorum apertissimè est posita.

Quomodo Magnes à vortice ad motum cieri possit, docetur.

§. 40. Cùm igitur phænomena acûs Magneticæ, atque adeo uniuscujusque Magnetis in se spectati satis sint explicata, quemadmodùm duo pluresve Magnetes inter se debeant esse affecti, per theoriam investigabo. Præcipuè itaque vorticem, qui circa quemlibet Magnetem à materia subtili formatur, perpendere oportebit; hic autem vortex cùm ad statum permanentem fuerit perductus, ab æthere circumdato undique æqualiter comprimetur, hincque ipse Magnes undique æqualiter pressus in quiete persistet, siquidem jam eam directionem, quam affectat, sit affectus. Sit igitur Magnes $A B$ vortici in polo A ingressum, in B verò exitum præbens, atque materia subtilis erumpens circa C ad latera reflectetur, & ad a reversa denuò in polum A ingredietur: in qua utraque reflexione materiæ sub- FIG. IX.

tilis æqualis utrinque vis impendetur, & ab hac æqualitate ſtatus æquilibrii pendebit. Quòd ſi igitur eveniat, ut materia ſubtilis in ϐ ſublatis obſtaculis directè progredi poſſit, tum ob ceſſantem hoc loco reflexionem vortex ex hac parte minori vi premetur, quàm ad α, hincque ipſe Magnes in A majori vi ſollicitatus quàm in B actu ſecundùm directionem AB propelletur. Simili modo ſi ad α aliunde ſufficiens copia materiæ ſubtilis advehatur, ut reflexio materiæ vorticis in hac regione ſuſpendatur, tum preſſio vorticis ad ϐ ſuperabit preſſionem ad α, ideoque ipſe Magnes ad B majore vi impulſus ſecundùm directionem BA promovebitur. Similiter intelligitur, ſi in ϐ alius materiæ ſubtilis fluxus contrà incurrat, qui quaſi cum vortice ad B erumpente confligetur, tum ob majorem ad ϐ reflexionem, compreſſionem quoque vorticis in hoc loco prævalere debere, unde Magnes ab altero illo materiæ ſubtilis incurſu repelletur in directione BA. Atque generatim quibus in locis inflexio materiæ ſubtilis à cauſa externa vel augetur vel diminuitur, propter vim, quam inflexio poſtulat, vel auctam vel diminutam, compreſſio Magnetis iiſdem in locis vel major vel minor evadet, ſicque ſublato vorticis æquilibrio Magnes ad motum ſollicitatur.

Magnetes polis amicis ſe ſpectantes ſe mutuò attrahunt.

§. 41. Ex his nunc facilè omnes effectus, qui in Magnetem mutua attractione ac repulſione cernuntur, determinari poterunt. Sint primò duo Magnetes ita poſiti, ut eorum axes AB & ab in directum jaceant, atque poli diverſi nominis A & b ſe mutuò reſpiciant. Hoc caſu perſpicuum eſt, materiam Magneticam ad b erumpentem, non ſolùm non tantam reſiſtentiam invenire, ſed etiam à vi elaſtica ætheris ad orificia alterius Magnetis A urgeri, ita ut materia Magnetica ad b proſiliens recta in meatus A irrumpat. Hinc igitur neque omnis materia ſubtilis ex b erumpens reflectetur, neque ea quæ ex B in A eſſet reverſura, curſum ſuum inflectet; ſed ulterius per δ & γ ad a uſque progredietur, ita ut per confuſionem horum duorum vorticum propemodùm unicus vortex oriatur. Hanc ergo ob cauſam

Fig. X.

compreſſio utriuſque vorticis, inter polos *A* & *b* diminuetur, atque iſti ambo Magnetes ad ſe mutuò urgebuntur. Permiſtio autem vorticum, hincque compreſſionis ad *Ab* diminutio, à magnitudine utriuſque vorticis & diſtantia Magnetum pendebit. Quò enim Magnetes fuerint propiores, eò major pars materiæ Magneticæ ad *b* erumpentis recta in *A* ingredietur, hincque eò minor portio reflectendo ad *a* perveniet: ob eandemque rationem eò minor portio materiæ ſubtilis in *B* exeuntis ad *A* deducetur, ſed maximam partem per γ & δ ad alterius Magnetis polum *a* propagabitur. Manifeſtum ergo eſt, quò Magnetes ſibi ſint viciniores, eò majori vi eos ad ſe invicem pelli debere, donec ſi poli *A* & *b* ad mutuum contactum perveniant, omnis materia Magnetica ad *b* effluens immediatè in alterum Magnetem ingrediatur, ſimulque omnis materia ad *B* erumpens in *a* uſque reflectatur; ita ut unus vortex ſimplex exiſtat, niſi ambo Magnetes magnitudine multùm inter ſe diſcrepent.

§. 42. Sint denuò axes duorum Magnetum *AB* & *ab* in directum diſpoſiti; at poli ejuſdem nominis ſeu inimici *A* & *a* ſe mutuò reſpiciant. Atque hoc caſu facilè intelligitur ratione vorticum contrarium præcedentis casûs uſuvenire oportere; cùm enim materia ſubtilis ad *B* & *b* reflexa ſibi occurrat, & conflictus mutuus naſcatur, uterque vortex inter *A* & *a* propterea magis comprimetur, ex quo Magnetes ſe mutuò repellere debebunt. Interim tamen dum utraque materia ſubtilis ex *B* & ex *b* prorumpens motum ſuum quantùm fieri queat, conſervare conatur, dubium eſt nullum, quin pars quædam materiæ ex *b* redeuntis viam ſibi per alterum vorticem aperiat, atque per *e* in *A* ingrediatur: ſimilique modo vorticis ex *B* recurrentis portio per *f* ad *a* penetrabit, ſicque permiſtio quædam vorticum modò major, modò minor orietur. Ex tali ergo vorticum permiſtione ob rationem antè allegatam attractio oriri debebit, quatenùs autem reliquæ vorticum portiones eò promtiùs in *g* & *h* inflectuntur, ex hac fortiori reflexione repulſio naſcetur: qui duo effectus prout alter alterum ſuperaverit, vel

Magnetes polis inimicis ſe ſpectantes ſe mutuò modò attrahere modò repellere poſſunt.

Fig. XI.

attractionem vel repulsionem generabunt. Quòd si ergo duo Magnetes hoc modo disponantur, fieri poterit, ut se mutuò æque attrahant, ac repellant: quin etiam accidere potest, ut variatâ Magnetum distantiâ, modò attractio, modò repulsio prævaleat, quæ anomaliæ à figura utriusque Magnetis plurimùm pendebunt, ac præterea in se tam erunt inconstantes, ut repetito eodem planè casu, raro eadem phænomena observentur. Tam egregiè autem hæc cum experimentis, quæ celeberrimo Muschenbroeckio debemus, consentiunt, ut vel ex hoc solo consensu theoria mea maximum adipiscatur firmamentum, propterea quòd ii ipsi effectus, qui isti Auctori planè inextricabiles, atque causam intelligentem arguere videbantur, tam prono alveo ex isto fonte derivantur.

Quomodò duo Magnetes se fugent, ostenditur.

§. 43. Hi ergo duo Magnetes in isto statu præternaturali perseverare non poterunt, nisi vi in eo detineantur. Ponamus igitur utrumque Magnetem instar versorii mobilem esse super cuspide verticali centrum gravitatis *C* & *c* sustinente. In hoc statu, si mentem directione generali à vortice terræ ortâ abstrahamus, ratio utique nulla foret, ut hi Magnetes se in hanc potiùs quàm aliam plagam convertant. At propter permixtionem vorticum, quam figura repræsentat, polus *A* versùs *g*, polus *a* versùs *h* recedere debebit: hocque modo poli cognomines simulque inimici *A* & *a* se mutuò fugare videbuntur. Hîc nimirùm similis effectus oriri debet, quo meatum Magneticum à vortice terræ dirigi est ostensum: materia namque Magnetica per *e* veniens obliquè in meatus Magneticos *AB* incurrit, hosque idcircò secundùm eam ipsam directionem, in qua materia subtilis fertur, disponere conatur. Hinc Magnes *AC* circa *C* versùs *g*, & alter circa *c* versùs *h* converti debebit, siquidem permistio vorticum eo fuerit facta modo, quem figura exhibet: sin autem permistio contrario modo contigerit, tum etiam Magnetes in plagas contrarias à se invicem recedent. Quousque autem poli *A* & *a* à se invicem removeantur, in sequenti paragrapho videbimus; interim hoc loco

tùm

tùm ratione permistionis vorticum, tùm ratione conversionis plurimùm referre notandum est, quomodò dispositio Magnetum horum se habeat, respectu plagarum mundi; vis enim dirigens vorticis terrestris maximè permistionem horum vorticum juvabit, atque efficiet ut Magnetes versùs hanc potiùs quàm alteram plagam convertantur. Hanc autem circumstantiam sitûs magni esse momenti experimenta satis comprobant.

§. 44. Ponamus utrumque Magnetem casûs præcedentis jam per angulum rectum à se invicem recessisse, seu duos Magnetes *AB* & *ab* super cuspidibus *C* & *c* mobiles in eo situ esse positos, quem Figura repræsentat, ubi scilicet sint axes utriusque Magnetis inter se paralleli, sed ita ut poli diversi nominis *A* & *b*, itemque *B* & *a*, in eandem plagam spectent. Primùm quidem verticem terrestrem cogitatione tollamus, atque manifestum est, portionem materiæ subtilis in *B* prosilientis ad alterius Magnetis polum *a* esse transituram; similiterque portionem materiæ subtilis in *b* erumpentis in alterius Magnetis polum *A* esse ingressuram. Hæc scilicet deflexio à tramite consueto ideo fiet, quia hoc modo subitanea reflexio evitatur. Ex quo simul perspicitur, si hi Magnetes sibi nimis essent vicini, tum hujusmodi communicationem nil lucri fore allaturam. In casu autem, quem Figura repræsentat, cùm utrinque omnia sint similia, ratio erit nulla, cur Magnetes convertantur. Quòd si verò alteruter vel tantillum declinetur, fient ex una parte poli amici sibi propiores quàm in altera parte, & hanc ob rem se mutuò attrahendo sese in situm Figurâ X. repræsentatum component, nisi inter se nimis sint propinqui. Sin autem effectus vorticis terræ insuper accedat, tum ex combinatione causarum effectus dijudicari debet; ubi quidem perspicuum est, quò remotiores fuerint Magnetes, eò majorem esse futurum effectum à vortice terrestri oriundum, in exiguis autem distantiis vires Magnetum esse prævalituras.

Quomodò duo Magnetes suspensi, in se mutuò agant.

Fig. XII.

§. 45. Distinctè igitur mihi exposuisse videor, quemadmodùm duo Magnetes tam ratione attractionis & repulsionis,

Theoria ex consensu cum experientia magis confirmatur.

quàm ratione directionis, in se mutuò agant; qui effectus quò magis sunt singulares & admirabiles, eò fortiùs causam hîc à me assignatam, unde tam planè & luculenter consequuntur, confirmant. Cùm enim effectus simplices plerumquè à pluribus causis oriri possint, atque difficile sit ex his, quæ vera sit, discernere: sic effectus compositi, maximèque complicati, cujusmodi sunt phænomena Magnetis, non nisi ab unicâ causâ proficisci possunt, à quâ si vel tantillum aberremus, plerorumque phænomenorum rationem reddere haud valeamus. Quamobrem cùm præcipuorum Magnetis effectuum causa tam naturaliter in theoria hîc exposita contineatur, dubitari profectò nequit, quin hæc sola theoria cum veritate consentiat. In hoc autem genere nullum adhuc inveni experimentum, cujus eventum non solùm theoriæ meæ maximè congruum deprehenderim, sed etiam à priori facilè prædixerim. Quoniam verò ea experimenta, quæ circa actionem duorum Magnetum in se mutuò sunt instituta, non difficulter ad casus evolutos reducuntur, iis singulis explicandis non immorabor, cùm eorum solutio non solùm ex jam allatis manifestò sequatur, sed etiam tædiosum foret in ejusmodi rebus, in quibus ne scrupulus quidem suboriri queat, longiùs inhærere. Progrediar itaque ad alius generis phænomena, postquàm hoc unicum monuero, corpora quæcunque, ferro excepto, inter binos Magnetes interposita, eorum actionem mutuam nullo modo turbare; cujus circumstantiæ, etsi celeberrimo Muschenbroeckio maximam difficultatem habere visa est, ratio ex superioribus in promtu est, cùm statuissem, materiam Magneticam cuncta corpora, præter ferrum ac Magnetem liberrimè permeare; quæ assumtio cùm sit naturæ maximè conformis, quâ constat, omnia corporaætheri aliisque fluidis subtilibus, utì calori, esse pervia, tum etiam ex his ipsis experimentis firmissimè corroboratur.

Virtutis Magneticæ communicatio cum ferro perpenditur.

§. 46. Jam præter attractionem, repulsionem ac directionem in Magnete potissimùm notatu digna est ejus vis communicativa, quâ cum ferro & chalybe similem suî vim

ita communicat, ut de ſuâ vi propriâ nihil amittat : quæ proprietas eorum animos, qui in cauſam phænomenorum Magnetis inquiſiverunt, maximè torſit. Ex cognitâ autem verâ ſtructurâ quâ virtus Magnetica continetur, manifeſtum eſt ad virtutem Magneticam cuiquam corpori conciliandam nil aliud requiri, niſi ut in eo meatus Magnetici efformentur, qui continuo tractu ab uno corporis termino ad alterum progrediantur. Ad hoc ergo primùm in corpore ineſſe debent ejuſmodi pori minimi ſubtiliſſimis filamentis obſiti & quaſi valvulis inſtructi : tum autem hi pori ita diſponi debent, ut canales continuos conſtituant, & valvulæ per totum tractum in eundem ſenſum ſpectent. Hujuſmodi autem poris præter Magnetem præditum eſt ferrum, & chalybs cum aliis corporibus, in quibus hæ ipſæ materiæ abundant. Hæc corpora etiamſi ejuſmodi poris ſcatent, tamen, niſi pori in meatus Magneticos ſint diſpoſiti, virtutis Magneticæ erunt expertia. Quamobrem ut his virtus Magnetica inducatur, primùm neceſſe eſt, ut pori ſint mobiles æque ac filamenta, quibus ſunt obſiti; tum verò ejuſmodi vis accedere debebit, quæ poros in debitum ordinem redigere valeat. In poris autem non opus eſt, ut ſenſibilis mobilitas ſtatuatur, quoniam quæque corpora poris maximè ſunt plena, ac leviſſima mutatio ſufficere poteſt ad poros in ſeriem continuam diſponendos. Filamenta verò quæ in poris valvularum vices gerant, ſine mobilitate concipi vix poſſunt : interim tamen per ſe perſpicuum eſt, hanc mobilitatem in aliis corporibus eſſe poſſe majorem, in aliis minorem.

Quomodò in ferro vis Magnetica generetur.

§. 47. In ferro ergo vel chalybe virtute Magneticâ nondum imbuto, pori iſti nullo certo ordine erunt diſpoſiti, ſed ita confusè diſperſi, ut neque meatus continuos conſtituant, neque valvulæ ex filamentis formatæ ad eandem plagam reſpiciant, quo in ſtatu quamdiu hæc corpora manebunt, nullâ prorsùs vi Magneticâ pollebunt, ſed inſtar reliquorum corporum inertiâ jacebunt. Neque verò etiam æther quieſcens circumfuſus in his corporibus certos meatus

efformare poſſet, quòd undique eadem vi premat, hincque poros etiamſi ſint mobiles, in unam potiùs plagam quàm aliam diſponere non valebit. At ſi æther, utì in vortice terreſtri uſuvenit, jam ſit immotus, tum ſecundùm motûs ſui directionem majori vi in poros extimos intrabit, quà tandem poros extremos ſecundùm directionem ſuam ordinabit: cùm enim fluxus materiæ Magneticæ integros Magnetes dirigere valeat, multò magis minimas moleculas in iiſque filamenta ciere valebit. Statim autem ac materia Magnetica in uno loco per extremos poros penetravit, ob ingentem quam jam acquiſivit celeritatem, faciliùs poros internos in debitum ordinem diſponet, dummodo hujuſmodi pori reperiantur continui. Cùm autem materia Magnetica ad alterum uſque terminum penetraverit, tùm prorumpens vorticem formabit, prorsùs utì circa ſingulos Magnetes exiſtere monſtravi: quo formato, ferrum ſeu chalybs pari virtute Magneticâ pollebit, ac ipſe Magnes. Sin autem pori Magnetici non continuo tractu procedant, ſed ſpatia materiâ peregrinâ repleta interjaceant, utì fit in mineris ferri non admodùm fœcundis, tum ejuſmodi corpora vi Magneticâ impraegnari non poterunt.

Ferrum ſucceſſu temporis tandem virtute Magneticâ impraegnatur.

§. 48. Ex his igitur intelligitur à vortice Magnetico terram ambiente in ferro tandem vim Magneticam generari poſſe, cùm iſte vortex ad hunc effectum producendum perpetuò vires exerceat. Quoniam verò in vortice terreſtri materia Magnetica & admodùm lentè movetur, nec in ſatis magnâ copiâ cum æthere eſt permixta, ejus vis perquàm erit debilis: unde quò hæc vis fuerit minor, eò plus temporis requiretur ad virtutem ſenſibilem in ferro excitandam. Ita videmus poſt longum demùm temporis intervallum bacillos ferreos virtute Magneticâ impraegnari: neque verò iſte effectus quovis modo obtinetur, verùm neceſſe eſt ut ejuſmodi bacilli ferrei conſtanter in eodem ſitu retineantur. Niſi enim idem perpetuò ſitus conſervetur, materia Magnetica ſecundùm aliam directionem ageret, ideoque effectum jam ante productum rursùs deſtrueret. Præterea

verò eò longiore temporis intervallo opus eſt, quò minùs mobiles erunt pori in ferro contenti, & quò rigidiora fuerint filamenta, ut non tam facilè in ſitum convenientem reclinari queant. Ex quo intelligitur, ſi quâ causâ internæ ferri particulæ mobiliores reddantur, eò citiùs ferrum virtute Magneticâ impragnatum iri. Hinc ferrum calidum, ſi in eodem ſitu diu reponatur, virtutem Magneticam citiùs acquiret, quàm frigidum; quoniam per calorem partes ferri rarefiunt, atque faciliùs inter ſe commoventur. Non parum quoque ad impragnationem accelerandam conferre poterunt mallei ictus vel limæ attritus, quippe quibus introitus materiæ ſubtilis atque pororum commotio non mediocriter juvatur. Quin etiam diſſolutione ferri lentâ, cujuſmodi evenit, ſi ferrum lapidi infixum injuriæ tempeſtatis diu fuerit expoſitum, ac ferri particulæ ſolutæ ſenſim ſe in poros lapidis inſinuent, actioni vorticis Magnetici liberior aditus aperitur, atque dum ſingulæ ferri particulæ debito modo diſponuntur, lapis tandem iis repletus perfectum Magnetem mentietur.

§. 49. Vis Magnetica hoc modo in ferrum illata eò erit fortior, quò plures meatus continuos materia Magnetica ſibi efformaverit: ſimul autem hæc vis in ferro eò pertinaciùs inhærebit, quò id fuerit durius, ſive ab initio jam tale fuerit, ſive demum poſtquàm virtutem Magneticam jam eſt adeptum, tale ſit factum. Quò durius ſcilicet fuerit ferrum, eò difficiliùs quidem virtutem Magneticam adipiſcitur, at verò adeptam pertinaciùs conſervat: contrà verò ferrum mollius promtiùs quidem virtute Magneticâ imbuitur, ſed eò faciliùs ac citiùs eam iterùm amittit. Hanc ob cauſam videmus ferrum multò faciliùs virtutem Magneticam impetrare quàm chalybem; chalybem verò vim ſemel receptam fortiùs retinere. Ferrum autem virtute Magneticâ iterùm privatur, ſi in ſitu contrario vortici terreſtri diu exponatur, quò fit ut materia ſubtilis ſibi ſecundùm aliam directionem meatus formando, eos qui jam antè inerant, rursùs deſtruat. Hæc ergo deſtructio iiſdem mediis promoveri

Virtus Magnetica in ferro facilè iterùm deſtrui poteſt.

poteſt, quibus ante imprægnationem accelerari oſtendimus. Inflexio nimirum, mallei ictus atque limatio, quibus operationibus pororum ordo turbari, & meatus interrumpi poſſunt, virtutem Magneticam afficient, eamque penitùs delere valent. Inprimis autem calor atque ignitio plurimùm virtutem Magneticam turbabunt, atque etiam ob hanc rationem ipſe Magnes vi ſuâ penitùs exui poteſt, quæ omnia cum experientia tam arctè conſentiunt, ut etiam ex hac parte nullum dubium circa veritatem hujus theoriæ ſupereſſe poſſit.

Figura ferri plurimùm confert ad vim Magneticam accipiendam.

§. 50. Quò autem ferri fruſtum virtute Magneticâ imbuatur, plurimùm intereſt, cujuſmodi habeat figuram, & in quonam ſitu hæc figura reſpectu vorticis materiæ Magneticæ reponatur. Quod ad figuram attinet, aptiſſima deprehenditur ea, quæ ſit oblonga inſtar trabeculæ efformata, neque nimis tenuis, neque nimis craſſa. Primùm enim patet, figuram rectam *A B* præſtare incurvatæ *ab*, eò quòd materia ſubtilis ſemel in *A* vel *a* ingreſſa curſum ſuum faciliùs in directum proſequitur, quàm ſecundùm lineam curvam vel inflexam. Quoniam deinde materia ſubtilis Magnetica per poros ferri facillimè movetur, maximam autem reſiſtentiam offendit, dum ex ferro in ætherem apertum egreditur, in trabecula recta *A B* parùm materiæ Magneticæ ad latera effluet, ſed fere omnis ſecundùm longitudinem *AB* penetrabit: ſicque meatus rectos ſecundùm longitudinem *A B* extenſos & inter ſe parallelos formabit, quibus fortiſſima virtus Magnetica efficitur. In trabeculâ autem curvilineâ *ab* meatus incurvati non tam facilè formabuntur, ſed in parte convexâ non exigua materiæ ſubtilis portio in ætherem prorumpet, atque vim Magneticam debilitabit. Quò autem meatus inter ſe paralleli producantur, craſſities bacilli ſatis exigua eſſe debet, ne ulla divergentia, quâ curſus meatuum perturbatur, locum habere queat; interim tamen nimia gracilitas æque obſtabit imprægnationi, propterea quòd meatuum numerus diminuitur, atque materia ad latera effluens plurimùm de virtute auferet. Hoc

Fig. XIII.

idem incommodum se offeret in bacillis seu virgis nimis longis, in quibus fere omnis materia subtilis ad latera exire potest, antequàm ad alteram extremitatem deferatur. Virga autem nimis brevis, etiamsi his incommodis careat, tamen hoc vitio laborat, quòd in tam exiguo spatio vortex materiæ Magneticæ ob viam percurrendam nimis curvam formari nequeat. Dabitur ergo & longitudo & crassities bacillo ferreo tribuenda, quæ sit aptissima ad virtutem Magneticam accipiendam, omnino utì experientia testatur.

§. 51. Quòd autem figura nimis crassa inepta sit ad vim Magneticam recipiendam, ex theoria facilè perspicitur. In hujusmodi enim figura ferri *AB* materia subtilis ad *A* ingressa facilè à tramite recto deflectet. Quamvis enim conetur in directum progredi, tamen si ob inæqualitatem particularum ferri hinc inde ad latera minorem resistentiam inveniat, eò deviabit, utì in *e*, hocque modo non solùm motus rectilineus turbatur, sed etiam motus materiæ subtilis in *α* ingressæ, ac fortasse in directum progressuræ, præpeditur. Inprimis autem hoc incommodum in altero termino *B* cernetur, ad quem si quæ materia subtilis penetraverit, tamen potiùs ad latera in *f* deflectet, ubi minorem invenit resistentiam, quàm si recta erumperet. Hoc igitur modo materia subtilis sibi ipsa est obstaculo in frusto ferreo nimis crasso, atque impedit, quominùs meatus regulares formari queant. Evadet quoque ingens portio materiæ subtilis per latera ferri, atque vicissim ad latera nova materia subtilis ingredietur, quibus omnibus fit, ut vortex Magneticus circa hujusmodi corpora vix ac ne vix quidem formari possit. Non parùm tamen in hujusmodi corporibus virtus Magnetica augeri potest, si utrinque in *A* & *B* acuminentur, hoc enim modo materia subtilis, quæ antè in exitu ad *f* deflectebatur, nunc ad cuspidem delata cursum ad latera inflectere non poterit, sed recta in ætherem prorumpet, vorticemque faciliùs producet. Experientia autem docet, bacillos ferreos utrinque in cuspides desinentes, multò majorem acquirere virtutem Magneticam, quàm si terminos

Frustum ferri nimis crassum ineptum est ad Magnetismum.
Fig. XIV.

habeant obtusos; quo certè phænomeno fluxus materiæ cujusdam subtilis per meatus ferri extra omne dubium collocatur.

Imprægnatio vis Magneticæ à situ bacilli ferrei maximè pendet.

§. 52. Bacillus ergo ferreus si in vortice terrestri ita collocetur, ut ejus longitudo cum directione materiæ subtilis congruat, eò faciliùs virtute Magneticâ impraegnabitur, quò magis apta fuerit ejus figura ad hanc virtutem recipiendam. Quòd si autem bacilli directio non multùm discrepet à directione motûs materiæ subtilis in vortice, virtutem Magneticam quidem etiam acquiret, at cùm tardiùs tùm debiliorem: quæ difficultas impraegnationis eò erit major, quò magis directio bacilli à directione vorticis differat ac: si bacillus ad hanc vorticis directionem normaliter constituatur, tum nullam planè unquam vim recipere poterit, quia materia subtilis æquâ vi utrinque ingredi conabitur. Detineatur hujusmodi bacillus *A B* in nostris quidem regionibus in situ verticali, ubi directio materiæ subtilis *a A*, *B b*, cum horisonte facit angulum circiter 60°; cum bacillo ergò angulum 30°. Cùm igitur, utì assumsi, materia subtilis ex terræ polo Magnetico Boreali erumpat, ea in directione *a A* ad bacillum perveniet, tandemque in *A* sibi ingressum aperiet: statim autem directionem suam in bacillo inflectet secundùm ipsius longitudinem, egressum ad latera evitatura, sicque tandem formatis meatibus secundùm longitudinem *A B* per bacillum transfluet, vorticemque peculiarem generabit, qui ad *A* in bacillum ingrediatur, ad *B* verò egrediatur. Hinc ergo bacillus in Magnetem transformabitur, polos suos ad *A* & *B* habentem, quorum illo *A* si sibi relinquatur, polum terræ Magneticum Borealem; altero verò *B* australem respiciet. Quamvis scilicet hic bacillus in situ verticali detentus virtutem Magneticam sit consecutus, tamen sibi relictus non ampliùs hanc positionem affectabit, sed secundùm cursum vorticis Magnetici quocunque terrarum transferatur, sese disponet. Sub Æquatore igitur terræ Magnetico idem bacillus verticaliter fixus, nunquam virtutem Magneticam accipiet, quia ibi fluxus materiæ

Fig. XV.

subtilis

ſubtilis fit ſecundùm directionem horiſontalem, reſpectu bacilli indifferentem.

§. 53. Quæ ferro in vortice terræ verſanti accidere docui, eadem efficientur in ferro, quod in vortice cujuſque Magnetis eſt poſitum, ſimili quidem modo, at multò citiùs ac promtiùs, quoniam materia ſubtilis Magnetica in vortice Magnetem ambiente cum majori copia adeſt, tum etiam motu incitatiori circumfertur. Hinc fit, ut non ſolùm virtus Magnetica cum ferro citiùs communicetur, ſed etiam figura ferri minùs idonea non tantopere efformationem meatuum Magneticorum impediat. Quò enim vis materiæ Magneticæ eſt major, eò faciliùs obſtacula in ferro ſuperabit, atque vorticem Magneticum conſtituet. Hinc quævis ferri fruſta in vicinia Magnetis poſita ſtatim à materia Magnetica permeantur, ac proptereà inſtar Magnetis attrahentur. Repulſio autem in ferro non tam facilè locum invenit, quia vortex ſtatim ac circa ferrum generatur, ſimul ita diſponitur, ut ejus motus cum motu vorticis Magnetis conſentiat, ideoque vorticum confuſio oriatur, unde poli amici ſe mutuò reſpicient, atque fortiſſima attractio gignetur. Sunt enim pori minimæque ferri particulæ admodùm mobiles, & à vi Magneticâ ſufficiente facillimè in quavis directione ad meatus Magneticos formandos diſponuntur; unde fit, ut ferrum virtute Magneticâ jam imbutum, etiamſi in ſitum contrarium reſpectu Magnetis collocetur, in quo repelli deberet, tamen mox vim priorem amittat, ejuſque loco vorticem in contrariam plagam directum accipiat, qui cum vortice Magnetis conſentiat, atque attractionem producat. Magnes autem multò pertinaciùs vorticem ſuum retinet, qui ab alio Magnete vix de ſtatu ſuo turbari queat: cujus phænomeni ratio eſt, quòd meatus in Magnete formati minùs ſint mobiles, & in ſitu ſuo multò fortiùs perſiſtant. Chalybs autem, qui eſt ferrum magis induratum, medium quendam locum inter Magnetem ac ferrum tenet, ita ut difficiliùs virtutem Magneticam acquirat, quàm ferrum, acquiſitam autem firmiùs retineat; unde ratio patet,

Magnes ferrum attrahit.

cur Magnes ferrum faciliùs attrahat, quàm chalybem, contrà autem chalybs vim Magneticam diutiùs conservet quàm ferrum. Atque ob hanc rationem acum Magneticam ex chalybe durissimo fabricari præstat, quàm ex ferro.

Singulare phænomenon Magnetis explicatur.

§. 54. Institutum est nuper coram Academiâ Scientiarum Petropolitanâ experimentum, quod ob eventum prorsùs singularem ac theoriam meam mirificè confirmantem hìc prætermittere non possum. Fecit ibi Chymicus peculiari artificio mixturam, ex ferro & stanno, quam Magnetes generosi ac fortes prorsùs non attraxerunt, Magnes verò exiguus & debilis attractam tenebat. Erant ergo in hac mixtura particulæ ferri ita cum particulis stanni permixtæ, ut meatus continui formari non possent, sed materia subtilis, postquam per singulas ferri particulas transiisset, in particulis stanni ob resistentiam ætheris motum suum quasi singulis momentis amitteret. Ferri autem particulæ nimis erant parvæ, quàm ut circa singulas vortex Magneticus generaretur. Hanc ob causam materia subtilis celeritate non nimis magnâ mixturam permeare potuit. Quò autem corpus à Magnete attrahatur, necesse est ut circa id vortex materiæ Magneticæ generetur; atque ad vorticem formandum requiritur, ut materia subtilis per viscera corporis multò celeriùs promoveatur, quàm extra, tantâque celeritate erumpat, ut ab æthere externo inflectatur. Cùm igitur in vortice Magnetis generosi materia subtilis jam ingenti velocitate moveatur, fieri potest, ut hæc celeritas non sit minor, quàm ea quâ materia subtilis per mixturam transierit: & hanc ob rem circa mixturam neque vortex generari, neque proinde mixtura à Magnete generoso attrahi potuit. Circa Magnetem autem debilem materia subtilis multò minori celeritate gyratur, quæ adeo si multò minor fuerit, quàm celeritas materiæ subtilis mixturam permeantis, motus vorticosus oriri hincque attractio evenire potuit. Oportet autem ad hoc experimentum ferrum cum stanno intimè permisceri, ut materia subtilis per hanc materiam heterogeneam motu quasi uniformi progrediatur. Singulare omninò

ac novum eſt hoc experimentum, quo conſtat à Magnete debiliori effectum produci poſſe, cui producendo Magnes generoſus ſit impar.

§. 55. Quoniam vidimus cum ferro eò faciliùs vim Magneticam communicari, quò copioſior motuque incitatior fuerit materia Magnetica, manifeſtum eſt, quò propiùs ferrum ad Magnetem admoveatur, eò citiùs ac fortiùs id virtute Magneticâ imbui debere. Maximè autem virtutis communicatio ac proinde attractio ſeſe exerit in polis Magnetis, ubi materia ſubtilis copioſiſſimè vel influit in Magnetem, vel ex eo prorumpit, hocque majori celeritate, quàm in ullo alio vorticis loco. Quæ ut clariùs perſpiciantur, ſit *AB* Magnes, cujus polus materiæ ſubtili introitum præbens ſit in *A*, alter ubi materia ſubtilis erumpit *B*. Quòd ſi jam ad polum *B* acus ferrea vel aliud fruſtulum *a b* reponatur, mox portio materiæ ſubtilis ad *B* erumpentis in *a* irruet, & quia tum celerrimè movetur, tum in magna copia adeſt, in acu ſecundùm motûs ſui directionem meatus efformabit, atque in *b* iterum exiens ab æthere ambiente reflectetur, à qua reflexione acus ad Magnetem urgebitur. Tranſmutabitur ergo acus ratione virtutis ita in Magnetem, ut poli *B* & *a* ſibi fiant amici. Idem eveniet, ſi acus *ab* ad alterum Magnetis polum *A* ponatur; tum enim non ſolùm in ejus termino remotiori *a* à vortice Magnetis materia ſubtilis intrabit, ſed etiam quia pori jam ſunt materiâ hac ſubtili ſummoperè elaſticâ repleti, ea in *b* propter reſiſtentiam ætheris ſublatam erumpet, ſicque poſt ſe per *a* continuum fluxum materiæ ſubtilis trahet; quocirca eadem planè phænomena in acu polo *A* admotâ obſervari debebunt, quæ in acu polo *B* admotâ deprehenduntur, hincque difficulter natura polorum Magnetis, uter materiam ſubtilem vel abſorbeat vel emittat, per experientiam diſtingui poteſt.

Quomodò ferro per Magnetem virtus Magnetica inducatur.

Fig. XVI.

§. 56. Ferrum ergo in vicinia Magnetis virtute Magneticâ imbuitur, ita ut non ſolùm ad Magnetem attrahatur, ſed etiam ipſum in alia ferri fruſtula vim exercere valeat. Ejus quidem virtus à Magnete plurimùm ſuſtinetur, unde

Quomodò per attritum virtus Magnetica maximè communicetur.

continuò materia Magnetica ingenti copiâ advehitur; quò fit, ut etiam si non adeo multi meatus Magnetici in ferro sint formati, tamen ob abundantiam materiæ Magneticæ virtus sit perquàm conspicua. Quamprimùm autem ferrum à Magnete removetur, ejus vis vehementer debilitatur; eò quòd primùm à vortice Magnetis non ampliùs adjuvatur, tum verò materia Magnetica in multò minori copia in meatus efformatos ingreditur. Scilicet eò debilior erit vis in ferrum translata, quò pauciores meatus fuerint formati, atque ob eandem rationem hæc ipsa vis eò citiùs peribit: inprimis autem plurimùm refert, cujusmodi figurâ ferrum sit præditum. Hinc intelligitur, vim cum ferro communicatam eò fore majorem ac stabiliorem, quò plures meatus in eo formentur cursu parallelo in directum extensi. Perspicuum igitur est, quò propiùs ferrum ad Magnetem admoveatur, ob majorem materiæ Magneticæ copiam, eò plures meatus efformari debere, quocirca in ipso contactu imprægnatio erit maxima, quia materia Magnetica non solùm pura in ferrum ex Magnete irrumpit, sed etiam eâ ipsâ fere celeritate, quâ in meatibus Magneticis movetur. Imprægnatio porrò per attritum maximè corroboratur; attritu enim partim contactus arctior efficitur, partim minimæ particulæ ferri succutiuntur, quò faciliùs se in ordinem debitum disponere queant.

Virtus Magnetica ad insignem distantiam extendi potest.

§. 57. Quanquam vortex Magnetem ambiens ad magnam distantiam extenditur, quoad penitùs cesset, atque eò longiùs pertingat, quò major ac nobilior fuerit Magnes, tamen ope ferri virtus Magnetis ad multò majorem distantiam expandi potest. Sit enim Magnes AB, cujus vortex non ultra ef pertingat; si ad ejus polum B admoveatur bacillus ferreus ab, portio materiæ Magneticæ per hunc bacillum ad b usque deducetur, unde ad A revertens verticem ad gh usque pertingentem exhibebit, debiliorem quidem quàm erat ad ef. Quòd si porrò ad b alius bacillus ferreus $\alpha\beta$ teneatur, per hunc portio materiæ Magneticæ ad b erumpentis ultra b ad ik propagabitur, sicque vortex

Fig. XVII.

Magnetis usque ad $i\,k$ pertingere videbitur, cùm demtis bacillis non ultrà $e\,f$ extendatur. Sic itaque ferrum in vicinia Magnetis ipsum vi Magneticâ pollebit, eamque ulteriùs extendere valebit. Ob hanc rationem duo frusta ferrea in vicinia Magnetis non solùm se mutuò attrahent, sed etiam si à Magnete ad satis notabilem distantiam removeantur, tamen attractio mutua non cessabit, perinde ac si vorticem Magnetis secum deducerent & dilatarent. Sin autem ferri massa statim ab initio in tantâ à Magnete distantiâ teneatur, nulla vis ipsi inesse deprehendetur, non tam quòd ipsi nondum inducta sit virtus Magnetica, sed præcipuè quòd vortex Magnetis non ad tantam distantiam porrigatur, ad quam tamen per successivam ferri à Magnete remotionem distendi potest.

Vortex Magneticus ad oculum demonstrari potest.

§. 58. Quò minùs autem existentia vorticis quemque Magnetem ambientis in dubium vocari possit, non solùm ipse vortex, sed etiam cursus materiæ subtilis in quovis loco circa Magnetem oculis spectandus exhiberi potest. Etsi enim notissimum est experimentum, quo Magnes limaturâ ferri circumfundi solet, tamen positio particularum ferri tam copiam quàm directionem materiæ subtilis verticem constituentis evidenter demonstrat. Cùm enim particulæ ferri, quibus limatura constat, non sint globosæ, sed tenues instar acicularum formatæ, eæ non solùm attrahentur, sed etiam secundùm longitudinem in eam ipsam directionem disponentur, in quâ materia vorticis movetur. Suprà enim est ostensum, acum ferream in vortice Magnetis positam secundùm directionem motûs materiæ subtilis, sese disponere debere. Hinc limatura ferri Magneti circumfusa primùm distinctè ostendet polos Magnetis, ubi materia Magnetica vel ingreditur vel egreditur; tum verò copia ejus in quovis loco copiam materiæ subtilis declarabit. Quòd si ergo per appropinquationem alius Magnetis vel ferri status vorticis turbatur, vel immutatur, inspectio limaturæ ferri circumfusæ hanc mutationem statim indicabit. Atque hoc pacto confusio atque alteratio vorticum, quam suprà

in variis circumſtantiis evenire debere docui, per experientiam oculis cerni, ſicque firmiſſimè demonſtrari poterit. Jucundum ſane hoc modo ſpectaculum ſenſibus offertur, quo materiæ prorsùs inviſibilis motum ac directionem tam diſtinctè percipere licet: theoriæ autem meæ aliunde quidem ſatis ſuperque confirmatæ veritas per hujuſmodi experimenta magnâ cum voluptate agnoſcetur & comprobabitur.

Vis Magnetis per armaturam intenditur.

§. 59. Quantùm armatura ad multiplicandam cujuſque Magnetis virtutem conferat, ex hâc theoriâ quoque evidenter demonſtrari poteſt. Sit enim Magnes *A B* polos habens in *A* & *B*, per quorum alterum *A* materia ſubtilis ingreditur, per alterum *B* egreditur: atque utì in armaturâ fieri ſolet, utrinque ad polos *A* & *B* laminæ ferreæ arctiſſimè coaptentur, quæ in altera extremitate adjunctos habeant pedunculos *a* & *b* Magneti firmiſſimè adjacentes, ut armatura cum Magnete quaſi unum corpus continuum conſtituat. In hoc ſtatu materia ſubtilis Magnetica ad *B* exitura in lamina curſum ſuum versùs pedunculum *b* inflectet, eò quòd longè minorem invenit reſiſtentiam in ferro, motu etiam inflexo, progrediendi, quàm directè in ætherem erumpendi. Maxima ergo materiæ ſubtilis portio ad pedunculum delata in ejus baſi *b* prorumpet, huncque adeo in locum exiguum polus Magnetis, qui antea per totam baſin *B* erat diffuſus, coarctabitur: ex quo vis attractiva hujus pedunculi tantò major evadet. Idem eveniet in altero polo *A*, in quem materia Magnetica in pedunculo *a* & lamina contenta faciliùs irruet, ſicque motus materiæ ſubtilis mox ita immutabitur, ut ex *b* erumpens per *c* curſum inflectendo in pedunculum *a* ingrediatur, hincque per Magnetem ad *b* revertendo vorticem perennem conſtituat. Qui vortex, cùm in unicam fere regionem per *c* cogatur, cùm antè circa univerſum magnetem eſſet diffuſus, nunc multò majori gaudebit vi tam attractivâ, quàm directrice, omninò utì experientia clariſſimè demonſtrat.

Fig. XVIII.

§. 60. Effectus autem Magnetis hoc modo armati ideo

quoque erit major, quoniam ambo poli a & b in gestandis oneribus se mutuò adjuvabunt, hincque vim quasi duplicabunt, nisi fortè onera ferrea ita applicentur, ut vires amborum polorum se mutuò destruant. Hoc autem modo vis unietur, si frustum ferri idoneæ figuræ EF ad bases pedunculorum a & b ita applicetur, ut contactus sit perfectus. Tum eorum materia subtilis ad b effluens per hoc ferramentum viam sibi aperiet, atque cursu ad Cc reflexo ad a in Magnetem revertetur, hocque modo ferrum ad utrumque pedunculum simul attrahetur, quæ adeo vis longissimè superabit eam, quam idem Magnes inermis exerere potest. Nisi igitur pondus ferri EF jam tantum fuerit, quantum Magnes gestare valet, Magnes insuper pondus ferramento in C appendendum sustinere poterit. Cùm autem jam ferrum EF ipsum Magnetis vicem teneat, per vim attractivam onus ferreum adhuc majus ferre poterit, quàm solus Magnes valeret. Hæc autem tam planè ex theoria sequuntur, ut superfluum sit pluribus ejusmodi explicationibus immorari: hancque ob rem plurima alia experimenta, quæ Magnes naturæ scrutatoribus suppeditavit, prætermitto, cùm & facillimè ex theoria deriventur, & ipsa theoria nullâ ulteriori confirmatione indigeat. Cùm enim Illustrissima Academia hoc solum proposuisset, ut theoria seu causa Physica phænomenorum Magnetis in lucem protrahatur; quia huic quæstioni ex asse mihi quidem satisfecisse videor, finem huic tractationi impono.

Quomodo vis amborum Magnetis polorum per armaturam uniatur.

Fig. XIX.



DISCOURS

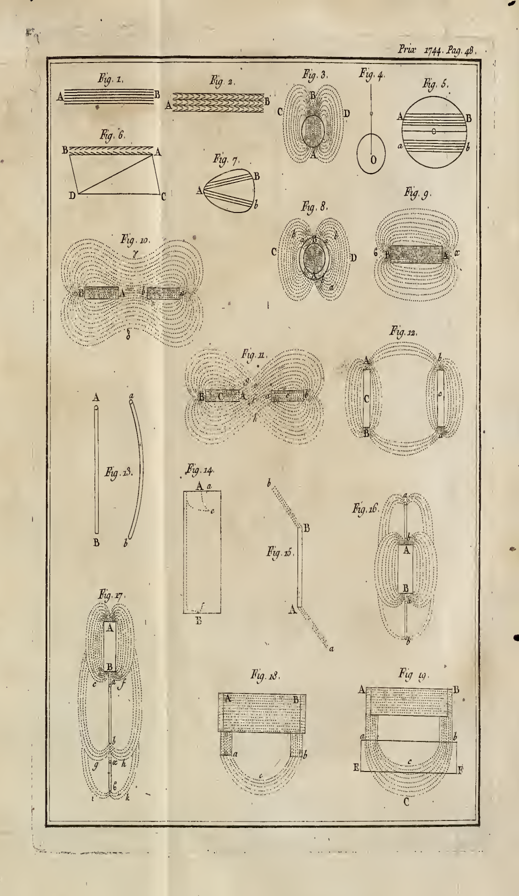


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.

DISCOURS
SUR
L'AIMAN,

Présenté à l'Académie Royale des Sciences, pour concourir sur le sujet proposé, pour 1744.

Cette Piece est une des trois entre lesquelles le Prix Triple a été partagé en 1746.

...... Fluere è lapide hoc permulta necesse est Semina. Luc. lib. VI.

Par M. Du Tour, Écuyer, Correspondant de l'Académie Royale des Sciences.





ESSAI SUR L'AIMAN,

OÙ L'ON EXPLIQUE,

Son Attraction avec le Fer, la direction de l'Aiguille aimantée vers le Nord ; sa Déclinaison, & son Inclinaison.

.... Fluere è lapide hoc permulta necesse est Semina. Lucr. Lib. VI.

'AIMAN, par les merveilles qu'il nous offre, est en droit d'intéresser notre curiosité ; & par rapport aux avantages qu'il nous procure, il devient un objet des plus importans de nos recherches. Je me suis attaché, dans celles que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie Royale des Sciences, à entrer dans ses vûes, & à rendre mon travail utile, en interrogeant la Nature



par des expériences, en rassemblant des faits, & en les détaillant exactement.

Je débuterai par quelques réflexions préliminaires sur la matiere Magnétique, qui serviront d'introduction à ce que j'ai à dire sur les propriétés de l'Aiman, que je me propose principalement d'examiner dans ce discours.

CHAPITRE I.

De la Matiere Magnétique.

I. TOUS les phénoménes de l'Aiman concourent à établir l'existence de la matiere Magnétique. Des expériences très-simples nous la montrent à l'œil, pour ainsi dire, ou du moins ce qui la représente : on y voit qu'elle tourbillonne en dedans & autour de tout Aiman. M. Du Fay * est même parvenu à s'assurer, que son courant étoit unique, & que la direction du tourbillon général, qui circule autour du globe de la terre, étoit du Sud au Nord. Mais tout cela, quoique constant par des faits visibles, est encore sujet à une grande difficulté : on a de la peine à concevoir la cause qui perpétue la circulation de la matiere Magnétique autour d'une pierre d'aiman. Nous ne pouvons guères la chercher ailleurs que dans la figure & la disposition des parties internes de l'Aiman : mais c'est ici que nous aurions envain recours aux Microscopes ou aux Analyses Chimiques, pour nous procurer des éclaircissemens satisfaisans ; & nous en sommes réduits aux conjectures. Je vais en proposer.

* Mémoires de l'Académie, 1728 & 1730.

II. Je suppose que les pores de l'Aiman forment des canaux paralleles à son axe, & sont revêtus de petits poils roides, peu mobiles, & qui étant tous couchés dans le même sens, en livrent ou en refusent le passage à la matiere Magnétique, selon le bout auquel elle se présente pour y pénétrer. J'admets de plus un mouvement interne dans

l'Aiman, au moyen duquel ses pores se dilatent, & se contractent tour à tour. Si on m'accordoit ces suppositions, il seroit aisé d'en déduire comment une pierre d'Aiman conserve constamment son tourbillon.

III. Imaginons qu'une pierre d'Aiman n'en ait pas actuellement, parce que ses pores auront été bouchés de façon à les rendre impénétrables à la matiere Magnétique; concevons que ces pores se débouchent ensuite tout-à-coup; la matiere du tourbillon général, qui circule autour du globe de la terre, en parcourant sa surface & même son intérieur, & qui environne par conséquent la pierre, tendra à s'y insinuer de toutes parts. Au moyen de la disposition des petits poils, dont les pores de l'Aiman sont herissés; elle ne peut y entrer que par un de ses bouts, que par celui qui lui présente les petits poils renversés, & qui porte le nom de pole Boreal : elle se précipitera donc par-là dans l'Aiman, dont les pores sont ou vuides, ou occupés par quelque fluide, qui lui résiste infiniment moins que l'air. Car il en est de cet Aiman comme d'une bouteille vuide, qu'on plongeroit dans une cuve pleine d'eau; l'eau viendroit en affluence se jetter dans la bouteille, vers l'orifice de laquelle elle prendroit sa pente; c'est aussi ce qui doit arriver à la matiere Magnétique, qui se trouve aux environs de la pierre. Comme son courant d'un pole de la terre à l'autre est assez lent, par rapport à la rapidité avec laquelle elle enfile les pores de l'Aiman, toute celle qui est autour à une certaine distance, prendra sa pente, & se dirigera vers le pole Boreal de l'Aiman. Si, conformément à ce que j'ai mis en supposition, l'Aiman a pour lors un mouvement qui contracte ses pores, la matiere Magnétique qui est venue s'y loger, en sera chassée en partie : mais elle ne sçauroit rebrousser vers le pole Boreal, par où elle y est entrée, parce que les petits poils, en lui présentant leurs pointes, lui bouchent le passage de ce côté-là; elle sera donc toute repoussée vers le côté opposé, vers le pole Austral de l'Aiman, par où elle en sortira. Un mouvement

de dilatation qui surviendra tout de suite dans les pores de l'Aiman, y introduira de nouvelle matiere Magnétique par le pole Boreal, tandis que celle qui en est sortie par l'Austral, sera déterminée par le courant de celle qui est en mouvement autour de la pierre, à circuler vers le pole Boreal, qu'elle enfilera de nouveau, ce qui doit procurer à la pierre un tourbillon particulier, qui subsistera autant de tems que ces mouvemens de contraction & de dilatation se succéderont.

IV. De ce que le fer ressemble beaucoup à l'Aiman, & qu'il peut avoir tout comme lui un tourbillon de matiere Magnétique, il n'y a pas lieu de douter qu'ils ne le doivent l'un & l'autre à une cause commune, & que si l'Aiman a les mouvemens de contraction & de dilatation que nous lui avons assignés, le fer n'en soit aussi susceptible. Mais comme le tourbillon qu'acquiert le fer, est sujet à s'altérer, à se dissiper, à se renouveller; que son courant, après avoir eu une certaine direction, en prend quelquefois une autre toute opposée; & que souvent, ces effets dépendent uniquement de la simple situation du fer, on ne sçauroit se dispenser de reconnoître avec M. Du Fay *, que les petits poils, dont sont tapissés les pores du fer, différent de ceux de l'Aiman, en ce qu'ils sont extrêmement mobiles sur celle de leurs extrèmités qui les attache à la substance du fer, au point que la moindre secousse ou leur propre poids suffit pour les abbattre; & qu'ainsi ils sont disposés à se coucher en différens sens, à prendre tantôt un arrangement uniforme, & tantôt à se mettre dans une confusion parfaite.

* Mémoires de l'Académie, 1728, p. 362.

V. Au reste, je ne prétends nullement garantir l'existence de ces mouvemens de contraction & de dilatation, que je suppose à l'Aiman & au fer. Je ne propose cette idée que comme une conjecture : & je demande seulement, qu'en attendant qu'on trouve quelque chose de plus satisfaisant, on me la passe, parce qu'elle est de quelque secours pour l'imagination, qui s'en représentera plus fortement les phénoménes; & que, si elle ne va pas droit au but, elle

peut mettre ſur la voie ceux qui ſe donneront la peine de l'approfondir : ce ſont là du moins, les motifs qui m'engagent à la haſarder.

VI. Quoi qu'il en ſoit, on voit par l'arrangement que prend la limaille de fer ſur un carton qu'on place au-deſſus d'un Aiman, que la matiere de ſon tourbillon eſt fort ramaſſée & fort preſſée, lorſqu'elle y entre, & lorſqu'elle en ſort, & par conſéquent, tant qu'elle coule dans ſes pores ; & qu'au contraire lorſqu'elle circule au-dehors de la pierre, ſon courant s'élargit & s'étend conſidérablement, ſe diviſant en une infinité de petits filets qui s'écartent les uns des autres. La matiere du tourbillon général doit être encore plus raréfiée, moins raſſemblée que celle du tourbillon particulier d'un Aiman, du moins ſur tous les paralleles de la terre qui nous ſont connus puiſque nous éprouvons par-tout, que la matiere de tout tourbillon particulier, l'emporte de beaucoup en force ſur celle du tourbillon général ; le plus foible Aiman agiſſant ſenſiblement ſur de la limaille de fer, que la matiere du tourbillon général ne ſçauroit ébranler le moins du monde. (*a*) Et cela ne paroîtra pas ſurprenant, ſi l'on conſidere l'eſpace immenſe que la matiere du tourbillon général a à parcourir pour ſe rendre d'un pole de la terre à l'autre. Car plus la traverſe eſt longue, & plus les cauſes qui occaſionnent la déſunion des filets de matiere Magnétique ſe multiplient. Il eſt encore à préſumer, que vers l'Equateur de la terre, ſon courant eſt beaucoup moins abondant, moins fourni que vers les poles, puiſque plus elle eſt éloignée des poles, & plus l'eſpace qu'elle a à balayer eſt étendu ; cette différence pourroit être aſſez conſidérable pour être ſenſible. Le même Aiman, par exemple, qui portera deux livres peſant de fer

(*a*) Hartſoeker a remarqué auſſi, que deux aiguilles de Bouſſole poſées chacune ſur un pivot l'une derriere l'autre, ſe tenoient toujours ſur une même ligne de direction, quoiqu'au moyen de leur ſituation cette ligne ne pût pas coincider avec celle de la direction de la matiere du tourbillon général, parce que ſon courant eſt trop foible pour l'emporter ſur le courant de celle qui tourbillonne autour des aiguilles. *Cours de Phyſique*, *l.* 3. *ch.* 5. *Art.* 61. *n.* 3.

à Quitto, n'en porteroit-il pas davantage à Paris, & encore plus à Kittis? Il devroit arriver, ce semble, à cet Aiman, ce qui arrive à un Aiman foible qu'on met dans le tourbillon d'un aiman vigoureux, où il acquiert de la force, parce que plus de matiere Magnétique le pénétre alors.

VII. Il est très-probable que la matiere Magnétique ne cesse d'être ramassée après être sortie des poles de la terre & de tout Aiman, & que ses filets ne se désunissent & ne s'écartent, qu'à cause de la résistance que l'air oppose à son courant; & qu'au contraire, ils se rassemblent dans les pores de l'Aiman, ainsi que dans ceux du fer, parce qu'elle trouve une grande facilité à s'y mouvoir: & sur ce pied, les dispositions opposées qu'ont ces différens milieux, l'Aiman & le fer à favoriser, l'air à troubler la circulation de la matiere Magnétique, doivent concourir & contribuer beaucoup à la faire tourbillonner autour de l'Aiman & du fer. Car il en résulte, que la matiere Magnétique qui avoisine & entoure un Aiman, doit se diriger en affluence vers son pole Boreal, & l'enfiler avec une rapidité considérable. Or, quelle que soit la cause qui la chasse ensuite hors de l'Aiman par le pole Austral, elle ne sçauroit s'empêcher, après s'être avancée jusqu'à un certain point dans la même direction qu'elle y est entrée, de se laisser entraîner par la pente de celle qui la précéde; d'autant plus qu'à la sortie de la pierre, elle est arrêtée & repoussée par la matiere du tourbillon général, qui entoure le tourbillon particulier de la pierre, & contre laquelle elle va heurter, soit que leurs directions soient en sens opposés, soit qu'elles soient en même sens, parce que le courant du tourbillon général est beaucoup plus rallenti que celui de tout tourbillon particulier: la matiere Magnétique rebroussera donc chemin, après être sortie par le pole Austral de l'Aiman, & se mettra à la fuite de celle qui a été la remplacer dans les pores de la pierre, où elle entrera elle-même de nouveau.

VIII. Une preuve que l'air résiste au courant de la matiere Magnétique, & occasionne par-là sa raréfaction, c'est qu'un

qu'un Aiman leve tant soit peu plus de poids * dans le vuide de la machine pneumatique, que dans l'air libre, & apparemment parce que l'absence de l'air grossier dans le récipient y fait place à la matiere Magnétique du tourbillon général, qui l'en traverse avec plus de facilité, & dont les filets y sont d'autant plus ramassés; ce qui met à même le tourbillon de l'Aiman qui s'y rencontre, de se fortifier & de s'accroître, & lui procure par conséquent une augmentation de force.

* Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. c. 5. art. 15.

IX. Au reste, c'est effectivement la matiere du tourbillon général, qui fournit à tout Aiman son tourbillon particulier, & qui l'entretient. Les fameuses croix du Clocher d'Aix & de Chartres, qui se sont aimantées par succession de tems, & les verges de fer qu'on aimante sur le champ à coups de marteaux, en font des exemples sensibles. Aussi le tourbillon d'un Aiman n'est-il pas toujours égal à lui-même. Il est susceptible d'augmentation & de diminution; ce dont il est aisé de juger par la variation de la force de l'Aiman: car si on met un Aiman * dans l'Atmosphere d'un Aiman plus fort, & qu'on essaie alors sa force, on la trouvera beaucoup plus considérable qu'elle n'étoit auparavant; mais sitôt qu'on l'aura retiré de cette Atmosphere, il ne lui restera plus que sa premiere force. Il est à propos de remarquer à cette occasion, que la matiere du tourbillon d'un Aiman, n'est pas non plus toujours la même. Il peut se faire que des filets de son tourbillon, en se rendant du pole Austral de la pierre au Boreal, se détournent sur la route, & s'en détachent pour se rejoindre au tourbillon général; ce qui donne lieu à d'autres filets de celui-ci de les remplacer, & de circuler à leur tour autour de l'Aiman; & par-là, le tourbillon d'un Aiman est sujet à se renouveller sans cesse: & c'est ce qui résulte de la propriété qu'a la matiere du tourbillon général, de disposer conformément à sa direction, un Aiman qu'on rend facile à être ébranlé; car elle n'en sçauroit venir à bout, qu'autant que quelques-uns de ses filets enfilent le pole Boreal de l'Aiman,

* Mém. de M. de Réaumur, sur l'Aiman, parmi ceux de l'Acad. 1723.

lesquels font dès-lors partie du tourbillon particulier de la pierre.

X. La résistance que la matiere Magnétique éprouve de la part de l'air, elle l'éprouve la même dans tout autre milieu, si l'on en excepte le fer. On voit dans les Expériences de l'Académie de Florence, que divers solides & divers fluides interposés entre une aiguille de Boussole & une pierre d'Aiman, n'ont dérangé aucunement la position dans laquelle l'Aiman tenoit l'aiguille, lorsqu'il n'y avoit que de l'air entre deux : ce qui fait voir que l'air & tous ces différens milieux offrent à la matiere Magnétique des passages, ou également étroits, ou également difficiles à pénétrer, & tels qu'en traversant les uns ou les autres, ses filets ne se désunissent jamais ni plus ni moins. Le fer seul paroît intercepter la matiere Magnétique : une plaque de fer interposée entre une pierre d'Aiman & une aiguille de Boussole, affoiblit ou interrompt totalement l'action de l'Aiman sur l'aiguille ; & un Aiman placé sous une feuille de tôle fort mince, n'ébranle même qu'à peine la limaille de fer répandue au-dessus. Ces faits confirment ce que nous avons avancé, sur la facilité que la matiere Magnétique trouve à se mouvoir dans les pores du fer ; car on peut regarder la substance du fer, comme percée d'une infinité de routes aisées, où la matiere Magnétique ne s'égare & n'est détenue, que parce qu'elle y a le champ libre pour s'y rassembler, & pour y tourbillonner même. Cependant M. Le Monnier n'en a pas jugé ainsi, parce que dans ce cas, selon lui,* elle seroit obligée de sortir par toutes les extrémités de la tôle, & agiteroit par conséquent de la limaille de fer, qui se rencontreroit vis-à-vis des extrémités de la tole, ce qu'elle ne fait pas. Cette objection a pû paroître très-spécieuse ; mais il est à considérer, que la matiere Magnétique qui passe de l'Aiman dans la tole, s'y disperse & s'y éparpille beaucoup. Cette tole, dont les petits poils qui tapissent ses pores sont dans une parfaite confusion, devient un assemblage d'une infinité de petits

*Hist. Acad. 1733. p. 14.

Aimans, dont les poles se trouvent placés çà & là, irrégulierement, & sans aucun ordre; & il est aisé de concevoir qu'il peut circuler en dedans & en dehors de la tole, une grande quantité de matiere Magnétique, sans que cette matiere puisse agir sensiblement sur de la limaille de fer, parce que ces tourbillons & ces courans ne concourent pas vers le même endroit, & que la matiere Magnétique * n'a de force qu'à proportion qu'elle est réunie & ramassée. Mais voici encore plus. J'ai éprouvé que si au lieu de limaille on met une aiguille de Boussole, qui est plus aisée à émouvoir que la limaille, vis-à-vis & tout près de quelqu'une des extrémités de la tole, la matiere Magnétique qui en sort, met effectivement l'aiguille en mouvement. On pourroit peut-être soupçonner que dans cette expérience, l'Aiman seul agit sur l'aiguille; mais en faisant cette expérience avec attention, on s'appercevra que la tole, en tant qu'elle fournit des passages commodes à la matiere émanée de l'Aiman, participe à cet effet, & aide au moins à l'action de l'aiguille sur l'Aiman. Car si on enleve la feuille de tole, le bout de l'aiguille qui étoit attiré, le sera moins; & par conséquent, il n'y a aucun lieu de douter, que la matiere Magnétique ne parcoure la feuille de tole en tout sens, & qu'elle n'y circule même avec beaucoup plus de facilité que dans l'air.

* Voyez ci-après, le ch 3.

XI. Prévenu de l'idée contraire, l'illustre Physicien que je viens de citer, a refusé d'admettre que la limaille de fer, qui, répandue sur un carton placé au-dessus d'un Aiman, s'arrange selon certaines courbes qui se réunissent vers les endroits du carton qui répondent aux poles de l'Aiman, fût enfilée par les écoulemens de la matiere Magnétique sortie de la pierre. Il a présumé au contraire, * que la matiere Magnétique ne pénétre aucunement les molécules de limaille qui forment ces courbes; & que les vuides ou espéces de sillons, qui sont entre ces courbes, sont les véritables routes de la matiere Magnétique, qui ne fait qu'écarter la limaille de part & d'autre. Je me suis avisé à

* Hist. Acad. 1733. p. 15.

ce ſujet, d'une épreuve déciſive, & au moyen de laquelle je me ſuis aſſuré, que ces molécules de limaille étoient actuellement autant d'Aimans, & avoient des poles diſtincts, & que leurs poles, de même dénomination, ſe trouvoient tous tournés du même côté. Après avoir ſemé de la limaille de fer ſur un carton poſé au-deſſus d'une pierre d'Aiman, j'ai préſenté aux molécules de limaille, le pole Boreal d'un autre Aiman; alors ils ſe ſont tous élevés ſur celle de leurs extrémités qui regardoit le pole Boreal de l'Aiman au-deſſus duquel ils étoient, & auquel ils devoient leur arrangement; & quand je leur ai préſenté le pole Auſtral du ſecond Aiman, ils ſe ſont tous élevés ſur l'extrémité oppoſée. Ils ont donc une de leurs extrémités qui fuit le pole Boreal, & recherche l'Auſtral de l'Aiman qu'on en approche, & l'autre extrémité qui recherche ſon pole Boreal, & fuit l'Auſtral: ils ſont donc dans le cas de tout Aiman, & par conſéquent la matiere Magnétique les enfile. Au reſte, ces molécules perdent le Magnétiſme qui leur eſt communiqué par l'Aiman qui eſt ſous le carton, dans le moment même qu'ils ſe trouvent hors de la ſphere d'activité de cet Aiman; car ayant retiré l'Aiman de deſſous le carton, & leur ayant préſenté tout de ſuite l'un des poles d'un autre Aiman, ils ſe ſont dreſſés indifféremment ſur l'une & l'autre de leurs extrémités.



CHAPITRE II.

De la Vertu attractive de l'Aiman.

XII. L'AIMAN & le fer s'attirent réciproquement à une certaine distance ; & il en est de même de deux Aimans dont les poles de différens noms sont voisins. M. Rohault * a présumé, que ce phénoméne dépendoit de la pression de l'air, qui, chassé d'entre deux Aimans, par exemple, par la matiere Magnétique, qui passe directement de l'un dans l'autre, étoit forcé de se retirer derriere, où il pesoit sur eux. Depuis, on a abandonné cette opinion, quand on a vû que le succès de cette expérience étoit le même dans le vuide de la machine pneumatique, que dans l'air libre. Au défaut de l'air, on a eu recours à la matiere subtile. Mais, capable de pénétrer dans les interstices les plus intimes des corps, est-elle propre à peser sur eux? Hartsoeker qui l'a employée pour expliquer cette attraction réciproque de l'Aiman & du fer, a été réduit à supposer, * que quoiqu'elle pénétrât tous les autres corps, elle ne pouvoit s'insinuer dans les corps Magnétiques de l'Aiman & du fer : c'est lui ôter un peu de sa subtilité.

* Traité de Physique, partie 3. ch. 8. Art. 23.

* Cours de Physique, l. 3. ch. 5. Art. 4.

XIII. Quoi qu'il en soit, il me semble que sans aller chercher si loin la cause de l'approche mutuelle de l'Aiman & du fer, ou de deux Aimans, dans les circonstances convenables, la matiere Magnétique du tourbillon général, peut toute seule opérer cet effet. Il est évident qu'elle environne & qu'elle enveloppe, pour ainsi dire, le tourbillon particulier de tout Aiman. Elle doit le presser de tous côtés, parce que la place qu'il occupe, il l'usurpe sur elle, & qu'elle tend naturellement à la reprendre. Quand deux Aimans *O* & *P* sont placés assez près l'un de l'autre, & que leurs poles de différentes dénominations se regardent, leurs tourbillons se réunissent ensemble ; la matiere Magnétique

PLANCHE I. Fig. I. qui fort de l'Aiman P par le pole A, paffe pour la plus grande partie tout droit dans l'Aiman O par le pole b, qui lui préfente des routes convenables; & la matiere Magnétique qui fort de l'Aiman O par le pole a, après avoir circulé autour & tout le long des deux Aimans, va fe rendre au pole B de l'Aiman P. C'eft de quoi au refte il eft aifé de fe convaincre, en mettant fur les Aimans une feuille de papier garnie de limaille de fer, qui tracera fidélement les routes que parcourt la matiere Magnétique. Ces deux Aimans ont donc un tourbillon commun, fur lequel, comme nous venons de l'obferver, la matiere du tourbillon général doit pefer en tout fens. Elle tendra donc à le refferrer dans le moindre efpace poffible, & par conféquent à amener les deux Aimans l'un vers l'autre; car leur tourbillon commun perdra d'autant plus de fon étendue, qu'ils fe rapprocheront davantage: ni la matiere Magnétique, qui du pole A paffe au pole b, ni l'air, ni la matiere fubtile qui fe rencontrent en K entre les deux Aimans, ne s'oppofent aucunement à l'effet de la preffion de la matiere du tourbillon général; ou, ce qui eft la même chofe, ne peuvent empêcher l'approche mutuelle des deux Aimans, parce que la matiere Magnétique qui fort du pole A, trouve toute la facilité imaginable à s'introduire dans les pores du pole b, & qu'à mefure que les Aimans, en fe rapprochant, chaffent l'air & la matiere fubtile qui font en K, ils laiffent par derriere le champ libre; l'air & la matiere fubtile n'ont qu'à changer de place. Il n'y a donc que l'afpérité des plans fur lefquels les Aimans font pofés, ou leur propre pefanteur, qui puiffent être un obftacle aux mouvemens qui font communiqués aux deux Aimans, par la matiere du tourbillon général. C'eft pourquoi fi l'un des deux Aimans n'eft pas extraordinairement pefant, & qu'il foit fufpendu en l'air par un fil, ou placé fur l'eau dans une Gondole de liége, de façon qu'il puiffe être aifément ébranlé, il ira fe joindre à l'autre.

XIV. Selon ce que je viens d'expofer, l'attraction

mutuelle de deux Aimans, ſuppoſe que leurs tourbillons ſe ſont confondus enſemble, du moins juſques à un certain point. Auſſi deux Aimans, quelque forts qu'ils ſoient, & quelque faciles qu'on les rende à être ébranlés, ne parviennent à ſe joindre que lorſqu'ils ſont fort près l'un de l'autre. En effet, pour peu que deux Aimans ſoient éloignés, leurs tourbillons ne ſe mêlent enſemble que très-imparfaitement, quoique leurs poles de différens noms ſe regardent; un intervalle de 7 à 8 lignes, eſt un intervalle très-conſidérable à cet égard. La réunion de deux tourbillons ne peut même être complette, que les deux Aimans ne ſe touchent, & encore ſe touchent-ils quelquefois ſans qu'elle ſoit telle. C'eſt de quoi m'ont convaincu quelques expériences faites ſur diverſes pierres d'Aiman, dont je vais rendre compte. Je mettois une feuille de papier, où il y avoit de la limaille de fer répandue, ſur deux pierres, dont je voulois reconnoître à quel point les tourbillons étoient réunis; & quoiqu'elles fuſſent toujours adoſſées l'une contre l'autre, & que leurs poles de différens noms fuſſent voiſins, toutes ne me donnoient pas les mêmes réſultats; tantôt il ſe formoit quatre vuides ſur le papier, tantôt trois, & quelquefois deux ſeulement.

XV. Je ne m'arrêterai pas ici à expliquer la cauſe qui produit ces vuides: il me ſuffit de remarquer qu'ils ne ſe forment qu'aux endroits de la feuille de papier qui répondent aux poles des Aimans; que la matiere Magnétique qui eſt fort raſſemblée loſrqu'elle y entre & lorſqu'elle en ſort, contribue beaucoup à les former, & qu'il eſt néceſſaire, pour l'y aider, de donner quelques legeres ſecouſſes à la feuille de papier. C'en eſt aſſez pour faire concevoir que les différens réſultats de mes expériences, étoient des marques ſenſibles de la réunion plus ou moins entiere des tourbillons des Aimans.

1°. Lorſque les poles voiſins des deux Aimans qui ſe touchent, ſont ſemblables, & diſpoſés de façon, que les pores ou interſtices dont ces poles ſont compoſés, ſe

couvrent tous & en entier, réciproquement les uns les autres, les filets de matiere Magnétique, qui, en sortant des uns, trouvent tout à plein pied dans les autres des routes convenables, les enfilent, & suivent leur chemin tout droit, sans qu'aucun de ces filets puisse se détourner & s'échapper d'entre les deux pierres. Alors on remarquera seulement deux vuides sur la feuille de papier
Fig. II. *ST* en *C* & en *D*, un au-dessus de chacun des poles extérieurs des Aimans; car il ne s'en peut former aucun en *E* à l'endroit du papier qui répond à la jonction des deux pierres, parce qu'il ne s'y éleve point de matiere Magnétique des poles intérieurs. C'est le cas de la réunion complette des tourbillons.

2°. Si les pores ou interstices, qui composent les poles voisins des deux Aimans, sont en plus grand nombre, & occupent un plus grand espace sur un Aiman que sur l'autre, & que les Aimans soient adossés, de façon que le pole le moins étendu *O* soit couvert en entier par celui qui l'est le plus, il est évident qu'une partie du pole *P* le plus étendu, aura vis-à-vis dans l'autre Aiman, des routes contiguës & correspondantes, & que l'autre partie de ce pole *P* n'en aura aucune vis-à-vis d'elle; les filets de matiere Magnéti-
Fig. III. ques qui passeront par la partie du pole *P*, qui a vis-à-vis des routes contiguës & correspondantes, agiront comme dans la premiere expérience; ils couleront en dedans d'une pierre dans l'autre; mais la circulation des filets de matiere Magnétique, qui passeront par la partie du pole *P*, à qui l'Aiman voisin ne présente aucun passage correspondant, ne peut subsister qu'autant qu'ils s'échappent de la pierre en dehors, ou que du dehors ils se rendent dans la pierre, selon que le pole *P* est l'Austral ou le Boreal; & dans l'un & l'autre cas, il se formera un vuide en *E*, à l'endroit de la feuille de papier qui répond à ce pole intérieur, ce qui, avec ceux qui se forment toujours au-dessus des poles extérieurs, fait trois vuides.

3°. Enfin, lorsque les poles voisins des deux Aimans sont disposés

disposés l'un à l'égard de l'autre, de façon qu'ils se débordent mutuellement, les filets de matiere Magnétique qui passent par les parties de ces poles, qui n'ont point vis-à-vis dans l'Aiman voisin des passages correspondans, ne peuvent se rendre directement d'un Aiman dans l'autre; il faut qu'ils circulent en dehors des Aimans, & il se forme deux vuides sur la feuille de papier, aux environs de la jonction des deux pierres, l'un au-dessus du pole intérieur, qui se dirige au Nord, par ceux de ces filets qui en sortent, & l'autre au-dessus du pole, qui se dirige au Sud, par ceux de ces filets qui vont s'y rendre du dehors; voilà le cas des quatre vuides, parce qu'il s'en forme toujours deux autres vers chaque bout des Aimans réunis, comme je l'ai déja dit. Dans cette expérience & dans la seconde, la réunion des tourbillons est incomplette.

XVI. Il suit de ces observations, que les tourbillons de deux Aimans ne se confondent parfaitement & en entier, que lorsque les pores ou interstices, qui composent les poles intérieurs des deux Aimans, sont en nombre à peu près égal dans chaque Aiman, & qu'ils correspondent exactement les uns aux autres, se touchant en toutes leurs parties; & pour cet effet, il est nécessaire que ces poles voisins aient été taillés, & soient bien unis, afin qu'ils puissent s'appliquer immédiatement l'un contre l'autre.

XVII. Je fis ensuite l'expérience avec deux Aimans, qui sont assez bien taillés, & dont les tourbillons s'étendent à dix pouces autour d'eux, ce dont il est aisé de juger parce qu'ils agissent sensiblement à cette distance, sur une aiguille de Boussole. Je tins d'abord ces deux Aimans éloignés l'un de l'autre de l'épaisseur d'une carte à jouer, & il se forma toujours quatre vuides de limaille sur la feuille de papier; ce qui prouve que le mêlange des tourbillons n'étoit pas entier, & qu'il y en avoit une partie qui continuoit à circuler séparément autour de chaque Aiman; (a)

(a) On s'en assure d'une façon sensible, en faisant un trou dans un carton, où l'on enfonce à moitié les deux aimans, disposés convenablement & écartés

mais j'obſervai en même tems, que cette portion de leur matiere Magnétique qui tourbillonnoit à part, n'étoit pas conſidérable, parce que les deux vuides intérieurs étoient infiniment plus petits que les extérieurs, (*a*) & qu'ils ne l'euſſent été eux mêmes, s'il y eût eu un plus grand intervalle entre les deux Aimans; ce qui donnoit lieu de préſumer, que la matiere Magnétique, à ſon paſſage par les poles intérieurs des deux Aimans, ne s'élevoit pas au-deſſus de la feuille de papier en auſſi grande quantité qu'elle l'eût fait, ſi les Aimans n'euſſent pas été près l'un de l'autre, & par conſéquent, que la plus grande partie de cette matiere ſe rendoit directement d'un Aiman dans l'autre.

XVIII. En pouſſant plus loin cette expérience, j'ai vû que plus il y avoit d'intervalle entre les deux Aimans, & plus les vuides intérieurs étoient étendus, & approchoient de la grandeur des extérieurs; d'où il étoit à conclure, qu'il s'en rendoit moins de matiere Magnétique, directement d'un Aiman dans l'autre. Lorſque je les eus mis à environ ſix à ſept lignes de diſtance l'un de l'autre, les vuides intérieurs devinrent égaux aux extérieurs, & un plus grand éloignement entre les Aimans, ne me parut plus y rien ajouter. Lors donc qu'il étoit d'à peu près ſept lignes, la réunion des tourbillons n'étoit plus ſenſible dans cette expérience. Ce n'eſt pas que cette réunion ne ſubſiſtât encore en partie; car, vû la diſtance où nous venons de dire que s'étendoient les tourbillons de ces Aimans, il n'y a pas d'apparence que leurs tourbillons fuſſent totalement ſéparés: les couches intérieures de chaque tourbillon circuloient ſéparément autour d'un ſeul Aiman; mais les couches extérieures, qui n'agiſſent pas ſenſiblement ſur la

l'un de l'autre de l'épaiſſeur d'une carte. La limaille de fer qu'on ſeme deſſus, prend à peu près l'arrangement tracé dans la Fig. IV.

(*a*) Les vuides ſe forment, comme il a été dit, au moyen des ſecouſſes que l'on donne au papier, & j'ai obſervé que ces vuides s'étendent proportionnément à la quantité de matiere Magnétique qui s'éleve du pole, au-deſſus duquel chaque vuide ſe forme, & qu'ils ont par conſéquent certaines bornes déterminées, que les ſecouſſes réiterées ne reculent jamais.

limaille de fer, & dont cependant une aiguille de Bouſſole, qui eſt plus aiſée à émouvoir, indique la préſence & la circulation, devoient ſe confondre encore & tourbillonner enſemble.

XIX. On n'aura pas de peine à ſe perſuader, que lorſque la réunion des tourbillons des deux Aimans eſt auſſi imparfaite, elle ſoit inſuffiſante pour occaſionner la jonction des deux pierres; car alors la preſſion que la matiere du tourbillon général exerce ſur le tourbillon commun aux deux Aimans, devient inefficace à cet égard, & incapable de vaincre la réſiſtance que leur peſanteur, ou d'autres cauſes, oppoſent à leur déplacement, parce qu'alors chaque Aiman ſe conſervant une partie conſidérable de ſon tourbillon, qui continue à circuler ſéparément autour de lui ſeul, ces écoulemens particuliers forment en *K*, entre les deux Aimans, une eſpéce de cul-de-ſac, que le ſurplus de la matiere de leurs tourbillons, qui s'eſt confondue pour en faire un commun aux deux Aimans, recouvre & enveloppe, mais où elle doit céder plus facilement que par-tout ailleurs, à la preſſion de la matiere du tourbillon général, qui par conſéquent, agit en *K* ſur les Aimans dans un ſens qui tend à les écarter l'un de l'autre, ce qui balance l'action de ſa preſſion en *D* & en *E*, & la rend nulle, lorſque cette preſſion en *K* eſt conſidérable. Elle l'eſt plus, à proportion que les Aimans ſont plus éloignés l'un de l'autre. FIG. IV.

XX. Les corps qui poſſédent un tourbillon de matiere Magnétique, ou qui ſont propres à en acquerir un, ſont les ſeuls qui puiſſent être attirés par l'Aiman, puiſque l'attraction Magnétique procede de la réunion des tourbillons des corps, entre qui elle s'exerce. M. Muſchenbroeck a fait une longue énumération de tous les corps que l'Aiman attire. Quant au fer, on conçoit que lorſqu'il eſt à une juſte diſtance d'un Aiman, il doit auſſi l'attirer, & en être attiré. Car on ſçait que le fer eſt très-diſpoſé à s'aimanter, qu'on le regarde comme un Aiman imparfait, & que lorſqu'il eſt dans la ſphére d'activité d'une pierre d'Aiman, les

petits poils métalliques, dont ses pores sont revêtus, reçoivent de la matiere Magnétique qui les enfile, un arrangement propre à la faire tourbillonner autour du fer : or, tant que ce fer n'est qu'à une certaine distance de la pierre, le tourbillon qu'il acquiert, doit être confondu, & ne faire qu'un avec celui de l'Aiman ; ce qui les met dans le cas de s'attirer réciproquement.

XXI. Dans les cas où les tourbillons d'un Aiman & d'un morceau de fer (on peut dire la même chose des deux Aimans voisins) ne sont pas assez intimement confondus ensemble pour que l'Aiman & le fer parviennent à se joindre, la pression de la matiere du tourbillon général sur leur tourbillon commun, ne laisse pas cependant que de tendre à les rapprocher, & elle les rapproche effectivement plus ou moins, selon le plus ou le moins de résistance des causes qui s'opposent à leur déplacement, & selon que la réunion de leurs tourbillons est plus ou moins complette. J'ai suspendu à un fil de soie de trois pieds de long, & très-délié, une aiguille Aimantée longue de deux pouces, par le sommet de sa chape ; l'aiguille s'est dirigée selon le méridien Magnétique ; elle rasoit la surface d'une table placée au-dessous, sur laquelle j'ai tracé une ligne droite dans le plan du Méridien Magnétique, où étoit l'aiguille ; j'ai divisé cette ligne en pouces & lignes, à commencer du point qui répondoit au centre de l'aiguille, & à son point de suspension. J'ai placé à l'extrémité opposée de cette ligne, un Aiman, de façon qu'il présentât au pole le plus voisin de l'aiguille, son pole de différent nom ; j'ai fait glisser l'Aiman sur la même ligne, en l'approchant peu à peu de l'aiguille, & je l'ai mené jusques à quatre pouces près, avant qu'elle ait commencé à s'ébranler. Mais l'Aiman étant à cette distance, le centre de l'aiguille s'est écarté un peu de la verticale qui passoit par son point de suspension, pour s'avancer vers l'Aiman ; à de moindres distances, le centre de l'aiguille se soutenoit encore plus rapproché de l'Aiman en s'éloignant de plus en plus de cette verticale ; &

enfin lorſque l'intervalle entre l'Aiman & le premier point de la ligne horiſontale tracée ſur la table, n'a plus été que de $2\frac{1}{2}$ pouces, l'aiguille a été ſe joindre à l'Aiman.

XXII. On pourroit objecter que comme la réunion des tourbillons de l'Aiman & de l'aiguille, devient d'autant plus complette, qu'ils ſont plus rapprochés l'un de l'autre, il en réſulte, que lorſque l'Aiman a une fois commencé à attirer l'aiguille aimantée, il devroit tout de ſuite l'amener juſques ſur lui; parce que pour peu que l'aiguille s'approche de l'Aiman, la réunion de leurs tourbillons en eſt plus parfaite, & cette réunion plus parfaite des tourbillons, devroit occaſionner un nouveau rapprochement; & ainſi alternativement, juſqu'à ce que l'aiguille ſe joindroit à l'Aiman, ce qui n'arrive point dans l'expérience précédente. Je ne diſconviens pas que cela ne dût effectivement arriver ainſi, ſans les obſtacles qui s'oppoſent à l'effet de la preſſion de la matiere du tourbillon général : mais il faut faire attention que dans cette expérience, à meſure que l'aiguille s'avance vers l'Aiman, elle réſiſte davantage par ſa gravité, à la force qui la pouſſe vers l'Aiman; car plus ſon centre eſt éloigné de la verticale, qui paſſe par ſon point de ſuſpenſion, & plus l'action de la gravité devient conſidérable, parce que la force qui la contrebalance, à ſçavoir la puiſſance qui tient l'aiguille ſuſpendue, (le fil de ſoie) agit avec moins d'avantage contre elle, à proportion que le centre de l'aiguille eſt écarté de la verticale. Par conſéquent, dans les divers éloignemens où l'aiguille ſe trouve à l'égard de l'Aiman, elle doit s'arrêter & ſe fixer, lorſque les deux forces qui agiſſent ſur elle en ſens contraires, à ſçavoir ſa gravité & la preſſion de la matiere du tourbillon général, ſont en équilibre. Selon ce que nous avons déja obſervé, plus l'Aiman & le fer ſont près l'un de l'autre, & plus la preſſion de la matiere du tourbillon général ſur leur tourbillon commun en *D* & en *E* eſt efficace; parce que la preſſion de cette matiere en *K*, en étant moins conſidérable, la contrebalance moins. Ainſi, lorſque l'action de l'une des Fig. IV.

deux forces contraires, qui agissent sur l'aiguille aimantée, augmente, celle de son antagoniste augmente aussi; & s'il arrive que, lorsqu'il n'y a qu'un certain intervalle entre l'aiguille & l'Aiman, l'équilibre est rompu & l'aiguille poussée jusques sur l'Aiman, c'est que ces deux forces contraires ne croissent pas dans la même proportion.

XXIII. On peut donc mettre en fait, que lorsqu'un Aiman a une fois commencé à attirer un morceau de fer, ce fer, s'il étoit absolument libre d'ailleurs, ne devroit pas s'arrêter qu'il ne fût joint à cet Aiman, puisque la cause de l'attraction doit devenir de plus en plus efficace, à mesure que le corps attiré s'approche. Ce résultat de mon sentiment sur la tendance mutuelle de l'Aiman & du fer l'un vers l'autre, l'est aussi du sentiment de ceux qui expliquent ce phénomene par la pression de l'air, ou de la matiere subtile. On vient de voir, que l'expérience précédente ne lui est aucunement défavorable; mais peut-être croiroit-on avoir des raisons suffisantes de ne pas l'admettre, dans les différentes positions que prend une aiguille de Boussole, à qui l'on présente le pole d'un Aiman, qu'on en approche peu à peu, en la conduisant sur une ligne perpendiculaire à celle de la direction naturelle de l'aiguille. Le pole de différent nom de l'Aiguille, ne se détourne pas tout-à-coup vers l'Aiman, mais pas à pas, à mesure qu'on avance l'Aiman, & cela jusqu'à ce qu'on l'amene à une certaine distance, où l'aiguille se dirige enfin selon la ligne de l'axe de l'Aiman prolongé. Mais il est à remarquer, que quoiqu'avant qu'il n'y eût qu'une telle distance entre l'aiguille & l'Aiman, elle en fût réellement attirée; c'est-à-dire, que la pression de la matiere du tourbillon général sur leur tourbillon commun tendît à les rapprocher, l'action de cette pression n'étoit cependant pas efficace; parce qu'étant moins considérable, à proportion que l'Aiman & l'aiguille, sur qui elle s'exerce, sont plus éloignés, & étant affoiblie d'ailleurs par la résistance que le pivot sur lequel l'aiguille est suspendue, oppose à son déplacement, elle étoit balancée par

l'action d'une autre puissance, qui agit en même tems sur l'aiguille, à sçavoir la matiere du tourbillon commun à l'Aiman & à l'aiguille, qui, en enfilant l'aiguille, tend à la mettre dans une position conforme à la direction de son courant; aussi l'aiguille en prend-elle de différentes, selon les différentes couches de ce tourbillon dans lesquelles elle se rencontre successivement; & on peut dire qu'alors la vertu directrice de l'Aiman l'emporte sur sa vertu attractive.

XXIV. J'ai cherché à disposer les choses dans l'expérience de l'attraction de l'Aiman & de l'aiguille, de façon que rien ne pût balancer la pression de la matiere du tourbillon général, sur leur tourbillon commun, comme il arrive dans celles mentionnées aux art. XXI. & XXIII. J'y suis parvenu, après quelques tentatives, & j'ai eu un résultat absolument conforme à mon hypothèse. J'ai rempli d'eau un grand bassin, où j'ai posé une aiguille ordinaire, qui surnageoit sur l'eau; j'ai placé ensuite une pierre d'Aiman à treize pouces de distance de l'aiguille, ce qui étoit à peu près la distance à laquelle cette pierre commençoit à agir sensiblement sur une aiguille de Boussole; l'aiguille s'est dirigée vers l'Aiman, & s'est avancée peu à peu jusque sur le bord du bassin, près duquel étoit l'Aiman. Dans le commencement, son mouvement étoit si lent, qu'à peine pouvoit-on le distinguer; mais il le devenoit moins, à mesure qu'elle s'approchoit de la pierre, ce qui vient de ce que la résistance que l'eau oppose au déplacement de l'aiguille, étant la même par-tout, l'attraction de l'Aiman est moins efficace, à proportion qu'elle s'exerce à de plus grandes distances. J'ai été curieux de connoître quel étoit le rapport des vîtesses de l'aiguille à différentes distances de l'Aiman. Lorsqu'elle a commencé à s'ébranler, son bout antérieur étoit à treize pouces de la pierre.

Pour parcourir le premier pouce, il a employé	120 fecondes.
Pour le fecond	110
Pour le troifiéme	78
Pour le quatriéme	72
Pour le cinquiéme	56
Pour le fixiéme	44
Pour le feptiéme	28
Pour le huitiéme	16
Pour le neuviéme	12
Pour le dixiéme	6
Pour le onziéme	3
Pour le douziéme & le treiziéme	1
Total du tems employé par l'aiguille à parcourir 13. pouces	546″ ou 9′ 6″.

Cette experience fournit un moyen pour évaluer la force refpective des différentes couches du tourbillon d'un Aiman, pour reconnoître fi fa vertu eft la même en différentes faifons, pour comparer les forces de deux Aimans, &c.

XXV. Une preuve que c'eft effectivement la réunion des tourbillons de l'Aiman & du fer, qui occafionne leur attraction réciproque, c'eft qu'un Aiman attire plus aifément un morceau de fer d'une certaine pefanteur, fi ce fer eft propre d'ailleurs à acquérir un tourbillon Magnétique bien fourni & bien étendu, qu'un morceau de fer plus leger, qui n'a pas de difpofitions fi avantageufes pour faire tourbillonner la matiere Magnétique autour de lui: auffi lorfque deux Aimans font difpofés de façon que leurs poles de différens noms ne font pas à portée l'un de l'autre, loin de s'attirer, ils fe repouffent réciproquement, parce que dans ce cas, leurs tourbillons ne fe mêlent point enfemble; & comme alors ils fe trouvent refferrés dans des bornes étroites du côté qu'ils s'avoifinent, ils doivent tendre à s'éloigner l'un de l'autre. On verra ci-après, art. LX. & LXI. que malgré la proximité des Aimans, leurs tourbillons ne fe confondent pas dans certaines circonftances.

CHAP.

CHAPITRE III.

De la propriété qu'a l'Aiman de lever le Fer.

XXVI. LA propriété qu'a l'Aiman de lever le fer, eſt une dépendance de ſa vertu attractive ; car de ce qu'un Aiman attire un morceau de fer, il réſulte qu'il l'enlevera, & le ſoutiendra, ſi la peſanteur du fer eſt moindre que la force attractive de l'Aiman. Mais on ſent bien qu'une force ſuffiſante pour attirer un morceau de fer qu'on rend facile à être ébranlé, en le ſuſpendant ou autrement, ne le ſera pas pour le porter, ſi ce fer a une certaine peſanteur. Auſſi on doit s'attendre à voir le plus ſouvent la réunion la plus parfaite des tourbillons de l'Aiman & du fer, qu'on lui préſente à ſoutenir, inefficace à cet égard, ou n'opérer l'effet qu'on en attend, que lors du concours & à l'aide de certaines diſpoſitions favorables.

XXVII. Ces diſpoſitions favorables, dont un Aiman emprunte ſa force, ſont l'abondance de la matiere de ſon tourbillon, & ſur-tout, l'union des filets qui le compoſent; plus ils ſont preſſés, & plus il porte peſant de fer : auſſi réuſſit-on à multiplier prodigieuſement ſa force, lorſqu'on lui donne une armure, parce que le fer appliqué convenablement ſur un Aiman, eſt propre à ramaſſer, à réunir les filets de ſon tourbillon. Les expériences ſuivantes, répandront quelque jour ſur cette matiere.

XXVIII. J'ai couché ſur le côté une pierre d'Aiman armée, en ſorte que les deux pieds de ſon armure fuſſent dans le même plan horiſontal. J'ai placé au-deſſus une feuille de papier *D D*, ſur laquelle j'ai ſemé de la limaille de fer, & cette limaille s'eſt arrangée en forme d'une multitude de courbes, qui ſe réuniſſoient de part & d'autre, aux endroits du papier qui répondoient aux pieds de l'armure de l'Aiman ; j'ai enſuite ôté la feuille de papier pour FIG. V.

Fig. VI. appliquer contre les pieds de l'armure la piece de fer *G*, qui en fait partie, & l'ayant remise (la feuille de papier) après à sa place, il s'y est encore formé quelques courbes de limaille, mais en beaucoup moindre quantité, & qui étoient infiniment moins distinctes que la premiere fois. J'ai fait la même expérience, en disposant autrement la pierre d'Aiman, de façon que les pieds de son armure regardassent en haut, & j'ai eu les mêmes résultats. La limaille répandue sur la feuille de papier, que je soutenois dans une position horisontale, à côté & tout joignant les pieds de l'armure, ne formoit qu'un petit nombre de courbes assez confuses, quand le fer *G* étoit sur les pieds de l'armure ; au lieu que quand il en étoit ôté, les courbes devenoient régulieres, & se multiplioient en s'étendant au loin sur la feuille de papier. Il résulte de ces faits, que le fer *G* empêche les filets de matiere Magnétique, dont les courbes de limailles sont les traces visibles, de s'écarter au loin, non-seulement au-dessous, mais même à côté des pieds de l'armure, parce que ses pores sont comme autant de canaux, où ces filets, quoique plus ramassés & plus réunis, coulent encore plus librement que dans l'air ; & l'on va voir que leur force en augmente à un point considérable.

XXIX. Après avoir remis la pierre d'Aiman dans sa situation naturelle, j'ai présenté à l'un des pieds de son armure, le bout superieur d'un brin de fil de fer, gros comme le petit doigt, & long d'environ deux pieds, que je tenois verticalement, & que l'Aiman n'a pû soutenir ; mais ayant ajusté le fer *G* sous les pieds de l'armure, de façon que

Fig. VII. l'un des pieds débordât le fer *G*, & placé en *A* dans l'angle formé par le pied de l'armure, & le fer *G*, le bout supérieur du même fil de fer *B*, il s'y est attaché alors. Les faits énoncés dans l'article précédent, nous aident à développer la cause de la différence de ces deux résultats. Quand le fer *G* est adhérant à l'Aiman, les filets de son tourbillon ne s'en écartent pas beaucoup ; ils se rendent pour la plûpart directement, & par le chemin le plus court, du pied de

l'armure dans le fer *G*, ou du fer *G* dans le pied de l'armure. Ils doivent, par conséquent, être fort ramassés & fort pressés en *A*, dans l'angle formé par le fer *G*, & le pied de l'armure où ils ont à traverser le bout du fil de fer *B*; & il paroît qu'ils doivent être d'autant plus capables de le soutenir, qu'ils se trouvent plus réunis. Il n'en est pas de même quand le fer *G* n'est pas appliqué à l'armure de l'Aiman; car alors les filets de matiere Magnétique n'ayant rien qui les retienne, s'écartent à leur ordinaire, & s'étendent au loin, en se rendant d'un pied de l'armure à l'autre, & même une grande partie de ces filets se détournent alors, pour circuler tout le long du fil de fer *B*; d'où il arrive que la matiere Magnétique trop divisée & trop dispersée, manque de force pour soutenir le même fer, qu'elle porte lorsqu'elle est ramassée.

J'ai fait cette expérience d'une façon encore plus précise, & qui fait voir à quel point se multiplie la force des filets Magnétiques, que le fer *G*, placé convenablement, tient réunis. J'ai présenté à l'un des pieds de l'armure, la table d'acier *T*, dont il est fait mention à l'art. XXXII. & à laquelle j'avois ajusté un plateau *S* de trebuchet. Contre l'autre pied de l'armure, étoit placé le fer *G*, de façon que le fer *G* & l'acier *T* se touchoient; j'ai mis alors des poids les uns après les autres dans le plateau *S*, jusques à ce que l'Aiman ait cessé de retenir l'acier *T*, & il a soutenu jusques à dix-huit onces, sans lâcher prise: ayant ensuite ôté le fer *G*, & laissé l'acier *T* appliqué tout seul contre le pied de l'armure de l'Aiman, un poids de deux onces dans le plateau, a suffi pour détacher l'acier *T*. Fig. VIII.

XXX. En effet, il est aisé de concevoir que l'union ou la dispersion des filets du tourbillon d'un Aiman peuvent influer beaucoup sur sa force: car on peut assez naturellement présumer, que les élémens de la matiere Magnétique, quelque figure qu'on veuille leur supposer, ont entre eux une certaine cohérence, qui les attache les uns aux autres, & les fait résister à une force quelconque, qui tendroit à

les féparer. Quand cette force étrangere, qui tend à les féparer, par exemple, la pefanteur du fer qu'on applique contre un Aiman, eft moindre que leur cohérence, que la force qui les unit enfemble, l'Aiman foutient le fer; quand c'eft le contraire, l'Aiman lâche prife. Or il eft évident, que fi ces filets de matiere Magnétique font raffemblés en grand nombre, réunis & ferrés les uns contre les autres, la cohérence de leurs élémens en deviendra d'autant plus difficile à vaincre, la pefanteur du fer trouvant plus de parties à divifer, & dont l'union en tout fens augmente la réfiftance; au lieu que la pefanteur du fer doit agir avec un grand avantage contre les filets de matiere Magnétique, lorfqu'ils font féparés & écartés les uns des autres, parce qu'elle agit alors fur chacun d'eux féparément. Il en eft de ces filets de matiere Magnétique, comme de deux cordes *A* & *C*, qui foutiennent un corps pefant *B*. Si on défile la corde *A* en une infinité de petits filets *a a a*, &c. & qu'on les applique à différens points du corps *B*, il eft certain que ces petits filets ainfi féparés, ne feront pas auffi forts, que lorfqu'ils ne compofoient tous enfemble qu'une feule corde; & le poids *B* peut être tel, que quoique les cordes *A* & *C* fuffent affez fortes pour les foutenir, il foit cependant capable de rompre les uns après les autres les filets *a a a*, &c. & enfuite la corde *C*.

FIG. IX.

XXXI. Au refte, ce que j'ai avancé au fujet des routes que fuivent les divers filets du tourbillon de l'Aiman, dans les deux cas de l'expérience détaillée dans l'art. XXIX. n'eft pas une pure fuppofition; il ne m'a pas été difficile de fuivre leur marche, & de me la rendre fenfible. J'ai étendu horifontalement l'Aiman auquel j'avois appliqué le fer *G*, & le brin de fil de fer *B*, & mis une feuille de papier *D D* au-deffus; la limaille de fer que j'y ai répandue, n'a pris aucun arrangement bien régulier, on appercevoit feulement aux environs de l'Aiman quelques arcs de courbes interrompues; ce qui indique que la plus grande partie de la matiere Magnétique couloit en dedans du fer. *G*. Mais

FIG. X.

l'ayant ensuite ôté, la limaille s'est rangée en une multitude de courbes, qui, partant du pied *A* de l'armure, & de tous les points qui répondoient à une longueur *AB*, d'environ six pouces de la partie du fil de fer la plus voisine de l'Aiman, alloient aboutir au pied opposé de l'armure.

XXXII. J'ai employé encore un autre moyen, par lequel j'ai reconnu que le fer *G* empêche non-seulement la matiere Magnétique de s'étendre & de s'écarter dans l'air, mais même de se détourner en aussi grande quantité, pour circuler dans un autre fer, tel que *B*, qui est suspendu par une de ses extrémités au pied de l'armure, contre & joignant le fer *G*. J'ai fait polir une petite table d'acier de dix à onze lignes de long, de sept de large, & d'une épaisseur, & dont une des tranches étoit arrondie : j'ai appliqué à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman cet acier *T*, par sa tranche arrondie, & à la tranche inférieure de l'acier, un brin de fil de fer *V* de sept à huit pouces de long; l'acier *T* est demeuré attaché contre le pied de l'armure, & le fil de fer contre l'acier *T*. Mais ayant aussi appliqué à l'autre pied de l'armure le fer *G*, de façon que le fer *G* & l'acier *T* se touchassent; le fil de fer *V* s'est détaché dans le moment de l'acier, qui a lâché prise; ce qui indique qu'une partie de la matiere Magnétique qui passoit en *X* au point de contact de l'acier *T* & du fil de fer, a cessé d'y circuler quand on a appliqué le fer *G* à l'aiman, & par conséquent que la matiere Magnétique est déterminée par sa direction à passer préférablement dans le fer, qui la mene par le plus court chemin au pole de l'Aiman, où elle doit se rendre, que dans tout autre fer, qui la détourne & l'en éloigne. Fig. XI.

XXXIII. J'ai fait la même épreuve d'une maniere encore plus simple. J'ai présenté à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman un brin de fil de fer de trois pouces de long, où il est resté suspendu; j'ai trempé alors son bout inférieur dans un tas de limaille, & il s'en est chargé considérablement. Ayant ensuite ajusté le fer *G* contre les pieds

de l'armure, en sorte qu'il touchât le bout supérieur du fil de fer, l'inférieur a laissé tomber une bonne partie de la limaille dont il s'étoit chargé; en cet état, je l'ai replongé de nouveau dans le tas de limaille, & il n'en a pas enlevé davantage. Il est à propos dans cette derniere expérience, d'employer par préférence un brin de fil de fer qui soit court, car plus il est long, & moins il est propre à se charger de limaille, & par conséquent la différence en quantité, de celle qui s'y attache dans les deux cas de l'expérience, est moins sensible. De plus, il est à observer, que si le bout qu'on plonge dans la limaille est bien limé & arrondi, il n'en enleve presque point, au lieu qu'elle s'y attache en quantité, si ce bout a beaucoup d'inégalités, comme lorsqu'il a été cassé.

XXXIV. Il y a une induction importante à tirer des observations précédentes; à sçavoir que lorsqu'un morceau de fer qui a quelque longueur, reste suspendu verticalement à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman, les filets de matiere Magnétique, qui enfilent ce fer dans sa longueur, ne contribuent que fort peu à le soutenir: car nous avons vû dans l'art. XXIX. qu'un Aiman qui manquoit de force pour porter un brin de fil de fer, quand la matiere Magnétique y circuloit abondamment & le parcouroit dans sa longueur, le soutenoit au contraire, quand au moyen du fer *G*, on retenoit la plus grande partie de la matiere Manétique dans des bornes fort resserrées, & qu'on l'empêchoit de se détourner pour pénétrer trop avant dans ce fil de fer; d'où l'on doit inferer, qu'un morceau de fer tel que le fil de fer *B*, est principalement retenu par les filets du tourbillon de l'Aiman, qui se rendent tout droit & par le chemin le plus court, sans se désunir beaucoup, d'un pied de l'armure à l'autre, & traversent en passant la partie de ce fer, qui est contiguë au pied de l'armure: & en effet, les filets de matiere Magnétique, qui circulent au-delà dans ce fer, lorsqu'il est ainsi suspendu, ne sçauroient manquer d'être très-désunis, parce qu'ils y entrent ou en sortent, les

* Voyez les art. XXIX. & XXXI.

Fig. VII.

uns plus haut les autres plus bas, par tous les pores qui se rencontrent dans la longueur du fer qu'ils parcourent; ce qui ne peut se faire, sans qu'ils ne se séparent & ne s'écartent les uns des autres, dans l'espace considérable qui se rencontre entre le fer & le pied opposé de l'armure, lequel ils ont à traverser; & il est évident, qu'ainsi détachés & écartés les uns des autres, ils ne peuvent avoir qu'une force infiniment inférieure à celle des filets qui sont rassemblés & réunis. Une expérience assez curieuse, dont je vais rendre compte, concourt à établir ce que j'avance à ce sujet.

XXXV. J'avois appliqué à l'un des pieds de l'armure de l'Aiman, la table d'acier *T*, dont j'ai parlé à l'art. XXXII. Fig. XII.
& à la tranche inférieure de l'acier *T*, un ciseau de fer *V*, long d'environ cinq pouces; l'Aiman retenoit le tout. J'avois encore suspendu à l'acier *T*, au moyen d'un petit trou pratiqué en *x*, un plateau de trebuchet *S*, dans lequel je mis autant de petits poids de cuivre que l'Aiman en put soutenir sans lâcher prise: ayant alors détaché le ciseau *V* d'avec l'acier *T*, & l'ayant placé dans le plateau *S*, je vis, avec quelque surprise, que l'Aiman abandonnoit l'acier *T*, & ce fut en vain que je tâchai de le lui faire soutenir, chargé comme il étoit du plateau, où étoient les poids de cuivre, & le ciseau de fer *V*. Ce n'étoit là cependant que ce qu'il avoit porté en premier lieu, lorsque le ciseau *V* étoit appliqué immédiatement à l'acier *T*. Comment la transposition de ce ciseau pouvoit-elle occasionner un pareil changement? c'est ce que je vais expliquer. Si, conformément à l'énoncé de l'article précédent, on fait attention que les filets du tourbillon de l'Aiman, qui traversent dehaut en bas, ou de bas en haut l'acier *T*, ne contribuent point, ou presque point à le soutenir, & que lorsque le ciseau *V* est appliqué en *X* à l'acier *T*, il n'y a que ces mêmes filets qui traversent l'acier *T* en *X* qui puissent l'y retenir: on concevra que les filets de matiere Magnétique qui soutiennent l'acier *T*, & qui sont ceux qui le traversent en *z*, en se rendant d'un pied de l'armure à l'autre, ne doivent guères le

trouver plus péſant, lorſque le ciſeau *V* y eſt attaché en *x*, que s'il ne l'y étoit pas, parce que le ciſeau de fer eſt uniquement ſoutenu par des filets du tourbillon, qui ne contribuent preſque en rien à ſoutenir l'acier *T*; & qu'ainſi, quoique le ciſeau *V* ſoit adhérent à l'acier *T*, les filets de matiere Magnétique qui portent l'acier *T*, ne ſont chargés que de l'acier *T* du plateau *S*, & des petits poids de cuivre; au lieu que quand le ciſeau *V* eſt détaché de l'acier *T*, & placé dans le plateau *S*, les filets de matiere Magnétique qui ſoutenoient auparavant ce ciſeau, n'agiſſent plus ſur lui; il devient un ſurcroit de charge pour ceux qui ſoutiennent l'acier *T*, qui étant déja chargés de tout ce qu'ils ſont capables de porter, doivent ſuccomber & lâcher priſe.

XXXVI. J'avouerai que lorſque j'entrepris cette expérience, je m'attendois à un réſultat tout oppoſé; j'étois prévenu que le ciſeau de fer, appliqué contre l'acier *T*, ne pouvoit manquer de détourner une partie de la matiere Magnétique, qui, en ſe rendant d'un pied de l'armure à l'autre, paſſoit à travers la tranche *z* de l'acier *T*; d'où il devoit arriver que l'Aiman auroit plus de peine à le ſoutenir, lorſque le ciſeau ſeroit adhérent à l'acier *T*, que lorſqu'il ſeroit mis dans le plateau *S*. Le ſuccès de l'expérience peu favorable à ma conjecture, me donna lieu de chercher à m'aſſurer de quelque façon ſenſible, ſi elle étoit juſte ou non: l'épreuve ſuivante me ſatisfit à cet égard, & me détrompa. J'appliquai l'acier *T* contre un des pieds de l'armure de l'Aiman, & je jettai de la limaille de fer ſur la tranche *z*, celle qui regarde en dedans, & elle s'y attacha en grande quantité. Je préſentai alors la tête du ciſeau de fer à la tranche inférieure de l'acier en *x*. Si le ciſeau avoit détourné de la matiere Magnétique qui paſſe par la tranche *z*, elle auroit abandonné une partie de la limaille qui y étoit collée; mais il ne s'en détacha point du tout: ce qui fait voir qu'il ne paſſe dans le ciſeau de fer, que les ſeuls filets de matiere Magnétique, qui traverſoient la tranche inférieure *x* de l'acier *T*, même avant qu'on l'y eût appliqué.

XXXVII.

XXXVII. On sçait que la maniere de faire soutenir le fer par un Aiman, en l'appliquant à l'un des pieds de son armure, dont nous avons seulement fait mention jusqu'ici, n'est pas la plus avantageuse : un Aiman porte bien plus pesant, lorsque les deux pieds de son armure touchent le fer ; ce qui doit être effectivement, selon le sentiment que j'expose : car alors le fer se trouve placé dans le plus fort du courant Magnétique ; une grande quantité de filets s'y rassemblent, & circulent le long de ses pores, & ces filets passant immédiatement d'un pied de l'armure dans le fer, & du fer dans l'autre pied de l'armure, sans traverser l'air, ne sçauroient se séparer, ni se désunir le moins du monde, & ils conservent par conséquent toute la force dont ils sont capables.

XXXVIII. Tous ces faits concourent à établir, que la force d'un Aiman réside dans les filets de la matiere Magnétique, qui tourbillonnent autour, & que cette force est d'autant plus considérable que ces filets sont plus ramassés & plus réunis : l'air, la matiere subtile, & mille autres causes étrangeres n'y sont pour rien ; la disposition seule du fer qu'on applique à l'Aiman, peut y influer en quelque chose, en ce qu'il peut être plus ou moins propre à réunir les filets de son tourbillon. En effet, j'ai remarqué plusieurs fois, qu'un gros fil de fer que j'avois d'abord essayé en vain de suspendre à l'un des pieds de l'armure d'un Aiman, s'y attachoit ensuite, quand j'avois donné quelques coups de marteau sur le bout de ce fil de fer ; apparemment parce que les coups de marteau disposoient ses pores de façon que la matiere Magnétique y trouvoit des routes plus régulieres, où elle étoit plus réunie, & par où elle passoit en plus grande quantité. M. Du Fay a conclu aussi, d'après certaines expériences qui sont détaillées dans les Mémoires de l'Académie, * que le degré de vertu d'un des bouts d'une aiguille aimantée, fait qu'elle est plus ou moins attirée par un Aiman. Or le degré de vertu qu'une aiguille peut

* An. 1731. p. 423.

avoir, dépend de la disposition plus ou moins avantageuse de ses parties.

XXXIX. La plûpart des Physiciens ont prétendu, que dans les climats Septentrionaux, celui des poles d'un Aiman qui se dirige au Nord, leve plus de fer que l'autre, & que la proximité du pole Boreal de la terre en étoit la cause: cependant le fait n'est rien moins que certain. M. Du Fay, qui a cherché à le vérifier, a trouvé, par des expériences concluantes, quoique délicates, * que dans différens Aimans ce n'étoit pas toujours les poles de même nom qui étoient les plus forts; que celui qui se dirige au Sud, l'emportoit quelquefois sur l'opposé, & que ces différences venoient de la disposition des parties internes des Aimans, dont un des poles peut être plus propre que l'autre à rassembler & à réunir la matiere Magnétique, & cela indifféremment à l'égard de l'Austral & du Boreal.

* Mém. Académiq. 1731. p. 417.

XL. Avant de quitter de vûe l'objet présent, il est à propos d'examiner ici, pourquoi un corps mince, tel qu'une feuille de papier, interposé entre l'Aiman & le fer, qu'on lui présente à soutenir, diminue très-considérablement la vertu de l'Aiman; ensorte que tel Aiman qui porte deux livres de fer lorsqu'il lui est appliqué immédiatement, en portera à peine une once, s'il y a une simple feuille de papier entre deux: en voici la raison. Le fer, par sa disposition, est propre à réunir les filets de matiere Magnétique; & au moyen de cela, l'Aiman a un grand avantage pour retenir le fer qu'on y applique immédiatement, parce que les filets Magnétiques qui se rendent de l'Aiman dans le fer, sans passer dans l'air, ni à travers aucun autre corps étranger, ne sçauroient s'écarter ni se désunir, & que c'est dans leur union que consiste leur force. Mais le papier n'a pas la même propriété que le fer; ses pores présentent des passages en tout sens aux filets de matiere Magnétique, qui, pressés dans l'Aiman, s'écartent les uns des autres en traversant l'épaisseur du papier; &, quoiqu'après s'être rendus du papier dans le fer, ils s'y réunissent de nouveau, leur

désunion dans l'épaisseur du papier, ne laisse pas de diminuer leur force de beaucoup; c'est-là leur endroit foible, c'est par-là qu'ils cédent à la pesanteur du fer, qu'ils eussent aisément porté, s'ils eussent passé immédiatement de l'Aiman dans le fer.

CHAPITRE IV.

De la Direction de l'Aiguille aimantée.

XLI. Lorsqu'un morceau de fer est aimanté, les petits poils dont ses pores sont hérissés, sont tous ou presque tous couchés dans le même sens, en sorte que la matiere Magnétique ne peut s'y introduire que par un seul bout; & si ce morceau de fer est disposé de façon à prendre toutes sortes de positions, comme l'est une aiguille de Boussole posée sur son pivot, il est sensible que la matiere Magnétique lui en donnera une conforme à la direction de son courant, parce que tant qu'il seroit dans toute autre position, il ne manqueroit pas d'être agité & baloté par cette matiere, qui heurteroit vainement contre sa superficie, sans pouvoir la pénétrer, & qu'il ne s'arrêteroit que lorsqu'il ne seroit plus obstacle à son courant, c'est-à-dire, lorsque son axe coincideroit avec la ligne que parcourt la matiere Magnétique.

XLII. Quoiqu'on s'accorde assez généralement à reconnoître dans la matiere Magnétique, cette propriété de disposer conformément à sa direction tout fer aimanté, & par conséquent tout Aiman, lorsqu'ils sont dans une situation qui leur permet de céder à son courant; je m'attacherai cependant encore à l'établir ici, en faisant voir qu'elle rend raison le plus naturellement du monde, d'un phénomene qu'on a crû donner atteinte à l'existence du tourbillon Magnétique. Il s'agit d'une espéce de mouvement

progreſſif, qu'une pierre d'Aiman qu'on paſſe ſous un carton garni de limaille de fer, communique à cette limaille, & qui eſt toujours en ſens contraire de celui de la pierre, quel que ſoit celui des poles de cette pierre qui ſoit l'antérieur. Suivons cette expérience dans toutes ſes circonſtances.

XLIII. Si ſur un Aiman dont l'axe eſt dans une poſition horiſontale, on place un carton garni de limaille de fer, en obſervant de ne le ſecouer aucunement, les molécules de limaille, qui ſont naturellement oblongs, ou qui le deviennent aiſément, parce que la matiere Magnétique qui les enfile alors, en joint toujours pluſieurs enſemble bout à bout; ces molécules, dis-je, s'élevent ſur un de leurs bouts en deux endroits différens du carton, qui ſont ceux qui répondent aux poles de l'Aiman. On diſtingue au centre de chacun de ces endroits un point, où le molécule de limaille qui s'y rencontre, eſt exactement perpendiculaire, tandis que ceux qui ſont autour à une certaine diſtance, ſe ſoutiennent ſous une inclinaiſon plus ou moins grande, ſelon qu'ils en ſont plus ou moins éloignés, & dans un ſens qui tend à écarter leur extrémité ſupérieure d'une ligne verticale qui paſſeroit par ce point. On ſe mettra au fait de cette diſpoſition de la limaille, en jettant
Fig. XIII. les yeux ſur la Fig. XIII. où les molécules *E*, *e*, dont chacun eſt au centre d'un de ces endroits qui répondent aux poles de l'Aiman *P*, *P*, ſont perpendiculaires au plan du carton *ML*, & où les molécules *A*, *B*, *C*, *D*, *a*, *b*, *c*, *d*, qui ſont aux environs de ce centre, s'inclinent en dehors, & d'autant plus qu'ils en ſont à une plus grande diſtance.

XLIV. La cauſe de cet effet ne paroîtra pas équivoque, pour peu qu'on faſſe attention au cours de la matiere Magnétique, qui, en ſortant par un des poles de la pierre d'Aiman, ſe diviſe en pluſieurs filets qui s'écartent les uns des autres en forme de balai ou de gerbe, & ſe réuniſſent enſuite ſous la même forme, pour y entrer par le pole oppoſé : les divers molécules de limaille ont une poſition

si conforme à la direction des routes que suivent les divers filets de matiere Magnétique, qu'on reconnoît sensiblement qu'ils la tiennent d'elle.

XLV. Maintenant, si le carton restant immobile, on fait mouvoir la pierre d'Aiman de *L* vers *M*, les molécules de limaille décriront autour de leur bout inférieur des arcs de cercle en sens contraire de *M* vers *L*; en sorte que les molécules *A*, *a*, par exemple, après s'être relevés peu à peu, jusqu'à devenir perpendiculaires, s'inclineront ensuite de plus en plus vers *L*, à mesure que l'Aiman s'avancera vers *M*. La raison s'en présente d'elle-même; on voit que ces molécules *A*, *a*, ainsi que les autres, au moyen du transport de la pierre d'un bout du carton à l'autre, se trouvent successivement dans le courant des filets de matiere Magnétique, *PA*, *PB*, *PE*, *PC*, & *Pa*, *Pb*, *Pe*, *Pc*, &c. & doivent en recevoir consécutivement des inclinaisons différentes, conformes à la direction de ces différens filets de matiere Magnétique, & qui sont telles que les bouts supérieurs de ces molécules, sont menés d'avant en arriere de *M* vers *L*.

XLVI. Il est évident que, quel que soit le pole de la pierre d'Aiman qui soit l'antérieur, la direction du mouvement de la limaille doit toujours être la même, & en sens contraire au mouvement de la pierre; parce que les routes que parcourent les filets de matiere Magnétique de son tourbillon, s'écartent également en forme d'éventail, tant vers le pole d'entrée, que vers le pole de sortie; & qu'en quelque sens qu'on meuve la pierre, ils se dirigent tant en avant qu'en arriere, sous de semblables degrés d'inclinaison & dans le même ordre.

XLVII. Il résulte nécessairement de mon explication, & l'expérience le confirme, qu'à chaque fois qu'on promene la pierre d'Aiman sous le carton d'un bout à l'autre, tout le mouvement progressif qu'un même molécule de limaille en peut recevoir, ne sçauroit aller au-delà de deux pas, ou de deux demi-révolutions que décrit le molécule;

la premiere, ſur l'une de ſes extrémités, lorſqu'il ſe trouve dans la gerbe Magnétique (*a*) du pole antérieur de l'Aiman, & la ſeconde ſur l'autre de ſes extrémités, lorſqu'il vient à ſe rencontrer dans la gerbe Magnétique du pole poſtérieur de l'Aiman : il eſt néceſſaire pour cela, que l'axe de l'Aiman qu'on paſſe ſous le carton, ſoit parallele au plan du carton ; car lorſqu'il lui eſt perpendiculaire, il n'y a plus que la gerbe Magnétique, du pole ſupérieur de l'Aiman, qui s'éleve au-deſſus du carton, & qui puiſſe y agir ſur la limaille de fer qui y eſt répandue : auſſi dans ce cas, à chaque paſſage de l'Aiman ſous le carton, un même molécule de limaille ne peut s'avancer que d'un pas ; il ne peut décrire qu'une ſeule demi-révolution autour d'une de ſes extrémités, laquelle eſt auſſi toujours en ſens contraire à la direction du mouvement de la pierre, quel que ſoit celui de ſes poles, le Boreal ou l'Auſtral, qui ſoit le ſupérieur.

Fig. XIV.

XLVIII. En tournant cette expérience un peu différemment, j'ai obſervé une nouvelle eſpéce de mouvement progreſſif, que la pierre d'Aiman communique à la limaille de fer, & qui eſt toujours dans le même ſens que le mouvement de la pierre. L'explication que je viens de donner du mouvement progreſſif de la limaille en ſens contraire, s'applique ſi naturellement à celui-ci, qu'elle en tire un nouveau degré de probabilité. J'ai ſuſpendu au-deſſus d'un carton, où j'avois ſemé de la limaille de fer, une pierre d'Aiman à la diſtance d'environ trois lignes du carton, en mettant ſon axe dans une poſition horiſontale ; & j'ai remarqué qu'aux deux endroits du carton, qui répondoient aux poles de l'Aiman, les molécules de limaille ſe tenoient élevés ſur une de leurs extrémités, à chacun deſquels endroits je diſtinguois comme un centre, où le molécule qui s'y rencontroit étoit perpendiculaire au plan du carton, & vers lequel, tous ceux qui étoient autour à une certaine

(*a*) J'appelle Gerbe Magnétique d'un pole d'un Aiman, le faiſceau, l'aſſemblage des filets de matiere Magnétique, qui ſont réunis, lorſqu'ils y entrent, & lorſqu'ils en ſortent.

diſtance, s'inclinoient plus ou moins, ſelon qu'ils en étoient plus ou moins éloignés.

XLIX. L'arrangement de la limaille dans cette expérience, eſt le même qu'elle prend dans celle où le carton ſe trouve au-deſſus de l'Aiman, avec cette unique différence, que dans celle-là, l'extrémité ſupérieure des molécules inclinés, tend à s'écarter de celui du centre, au lieu que dans celle où le carton eſt placé ſous l'Aiman, l'extrémité ſupérieure de ces molécules, s'abbaiſſe vers le molécule du centre, ainſi que le repréſente la Fig. XIII. où il eſt aiſé de remarquer, que l'inclinaiſon des molécules *H*, *I*, *O*, *Q*, *h*, *i*, *o*, *q*, du carton *RS* inférieur à la pierre d'Aiman, quoique contraire à celle des molécules *A*, *B*, *C*, *D*, &c. du carton ſupérieur *ML*, n'en eſt pas moins conforme à la direction des routes que parcourent les divers filets de matiere Magnétique, dans le courant deſquels ils ſe trouvent; ou plutôt, que l'une eſt relative à l'autre, & que ce que cette diſpoſition des molécules *H*, *I*, *O*, *Q*, &c. a de contraire à celle des molécules *A*, *B*, *C*, *D*, &c. vient uniquement des différentes ſituations des cartons *RS* & *ML*, à l'égard de la pierre, au moyen de laquelle les filets de matiere Magnétique, conſiderés aux endroits où ils s'élevent au-deſſus des cartons, & qui ſont ceux où ils rencontrent la limaille, tendent à s'écarter les uns des autres, dans l'expérience où le carton eſt mis au-deſſus de l'Aiman; au lieu qu'ils tendent à ſe raſſembler, dans celle où le carton eſt placé ſous l'Aiman.

L. Auſſi, ſi l'on réunit ces deux expériences ſous le même point de vûe, concevant qu'elles ont été faites toutes les deux à la fois, avec la même pierre d'Aiman poſée entre les deux cartons, l'on ne peut manquer de s'appercevoir, que les molécules de limaille, tant du carton inférieur que du ſupérieur, tendent tous par celle de leurs extrémités qui regarde la pierre, vers celui de ſes poles aux environs duquel ils ſe trouvent, & qu'ils s'y dirigent conformément aux routes des filets de matiere Magnétique, qui viennent

tant d'en haut que d'en bas, lesquelles routes, en se rapprochant de plus en plus les unes des autres, vont toutes aboutir de part & d'autre aux poles de l'Aiman.

LI. Si on me demande comment la matiere Magnétique parvient à relever les molécules de limaille, qui naturellement seroient étendus tout de leur long sur le carton, je dirai que, trouvant plus de facilité à se mouvoir dans le fer que dans l'air, elle les traverse dans toute leur longueur: les molécules sont alors aimantés, & ont actuellement des poles comme tout Aiman, par un desquels la matiere Magnétique entre, pour sortir par l'autre : ce qui le confirme, c'est que,

1°. Ces molécules sont attirés jusques sur l'Aiman, & se détachent du carton pour s'aller coller au pole de la pierre, lorsqu'ils n'en sont qu'à une certaine distance, du moins ceux du carton inférieur; car pour ceux du carton supérieur, il n'y a pas moyen, parce qu'il se trouve interposé entre la pierre & la limaille.

2°. Il arrive souvent, qu'au moyen de l'Aiman placé au-dessus ou au-dessous du carton, plusieurs molécules s'ajustent les uns au bout des autres, & en composent ainsi un de plusieurs piéces.

3°. Si l'on présente à ceux de ces molécules qui se tiennent élevés sur un de leurs bouts, aux environs de l'un des poles de l'Aiman, le pole opposé d'un autre Aiman, ils se dresseront davantage; & si on leur présente le pole de même nature de cet autre Aiman, ils se coucheront sur le carton; ce qui est une marque sensible que ces molécules ont alors des poles comme tout Aiman, lesquels fuient aussi ceux de même nom, & recherchent ceux de dénomination différente.

LII. Je passe aux circonstances de la derniere expérience, qui concernent la nouvelle espéce de mouvement progressif de la limaille, que j'ai annoncé. J'ai conduit la pierre d'Aiman de *S* vers *R*, en la soutenant toujours à la même distance, au-dessus du carton, d'environ $\frac{1}{4}$ de pouce; & alors

& alors les molécules de limaille ont décrit autour de leur bout inférieur, des demi-cercles aussi de *S* en *R*, dans le même sens, ensorte que le molécule *H*, par exemple, après s'être redressé peu à peu, s'est ensuite incliné de plus en plus vers *R*, à mesure que l'Aiman s'avançoit du même côté *R*. Il est visible que ce molécule *H*, (& il en est de même des autres,) dans les diverses positions qu'il a eues consécutivement, n'a fait que se diriger conformément aux routes *PH*, *PI*, *PN*, *PO*, &c. que parcourent les divers filets de matiere Magnétique, dans le courant desquels il s'est rencontré successivement, au moyen du transport de la pierre.

LIII. Au reste, il est indifférent pour le résultat de cette expérience, que le pole Austral de l'Aiman soit l'antérieur, ou que ce soit le Boreal; le mouvement de la limaille se fait toujours constamment dans le sens de celui de l'Aiman, & on sentira que cela doit être ainsi, si on se rappelle ici ce que j'ai observé, art. XLVI. au sujet de son mouvement en sens contraire dans d'autres circonstances. Je me contenterai aussi de remarquer, que le mouvement progressif de la limaille, en même sens que celui de la pierre d'Aiman qui le lui communique, ne consiste qu'en une demi-révolution de chaque molécule, autour d'une de ses extrémités, à chaque passage de l'Aiman d'un bout du carton à l'autre, lorsque son axe est vertical, & en deux, au plus, lorsque l'axe de l'Aiman est horisontal. L'analogie de ces faits avec les précédens, peut seule les faire prévoir d'avance, & elle me dispense de m'arrêter à en rendre raison.

LIV. Des phénoménes aussi contraires en apparence que le sont ces mouvemens progressifs de la limaille, l'un en sens contraire, & l'autre en même sens que celui de l'Aiman, qui les occasionne, & qui paroissent si évidemment dépendre d'une cause commune, à sçavoir de la propriété par laquelle la matiere Magnétique tend à diriger, selon son courant, tout fer qui est déja aimanté, ou qu'elle peut aisément aimanter, doivent être assurément regardés

comme de nouvelles preuves de la réalité de cette propriété. On sent bien, & l'expérience le confirme, qu'elle doit être plus sensible dans la matiere de tout tourbillon particulier, que dans celle du tourbillon genéral, puisque la matiere de tout tourbillon particulier étant plus rassemblée, doit agir * plus efficacement ; cependant les effets dont est capable la matiere du tourbillon général à cet égard, sont très-considérables, sur-tout si on les considere du côté de l'utilité que nous en tirons dans l'usage de la Boussole; ses impressions sont suffisantes pour faire mouvoir sur son pivot une aiguille de fer aimantée, & pour la forcer à prendre en un instant, une position telle que la direction de son courant l'exige.

* Voyez article 6.

LV. On sçait qu'on a observé depuis long-tems, que par toute la terre la position où se met l'aiguille aimantée, est à peu près du Sud au Nord ; ce qui, en nous découvrant qu'un Atmosphére de matiere Magnétique enveloppe notre globe, dénote en même tems qu'elle circule d'un de ses poles à l'autre. Descartes a conçu le tourbillon double, d'autres Philosophes l'ont jugé simple, mais sans pouvoir déterminer précisément duquel des deux poles partoit la matiere Magnétique, pour se rendre à l'autre. Nous devons à la sagacité de M. Du Fay, la solution de cette question : je rapporterai quelque chose des expériences sur lesquelles il s'est décidé. * Il a approché d'une aiguille de Boussole, une tringle de fer, qui n'étoit aucunement aimantée, & qu'il soutenoit dans une position horisontale ; ce fer n'attira aucun des bouts de l'aiguille : dans cette situation, il abbaissa le bout de la barre qui étoit le plus éloigné de l'aiguille, & celui qui en étoit près, attira subitement le Nord de l'aiguille; il éleva ensuite le bout qu'il avoit d'abord abbaissé, & l'autre qui restoit toujours immobile, attira le Sud de l'aiguille. Il retourna la barre de bout en bout, de façon qu'il tint proche de l'aiguille, celui qui en étoit d'abord éloigné, & les résultats de l'expérience qu'il recommença, furent les mêmes. On reconnoît ici, que

* Mém. Acad. 1728. p. 356.

c'eſt la ſimple ſituation de la tringle, qui donne lieu aux petits poils qui tapiſſent ſes pores, (*a*) de s'abbattre & de ſe coucher de haut en bas, ce qui en détermine les poles; parce que c'eſt en conſéquence de ſa ſituation, que les petits poils tournent leurs pointes vers un bout ou vers l'autre, & par conſéquent la matiere Magnétique entre dans la tringle, par celui de ſes bouts qui attire le Nord de l'aiguille : car il eſt évident que la matiere Magnétique doit trouver plus de facilité à s'introduire par le bout qui lui préſente les petits poils renverſés, que par celui qui lui en préſente les pointes : c'eſt donc par le Nord de l'aiguille aimantée, que la matiere Magnétique en ſort, & par conſéquent la direction du courant du tourbillon général, eſt du Sud au Nord. Le pole Auſtral eſt le point d'où part la matiere Magnétique, & le pole Boreal, celui vers lequel elle s'achemine. (*a*) Je croirois allonger inutilement ce Diſcours, ſi je rapportois ici les autres expériences, ſur leſquelles M. Du Fay a appuyé ſon ſentiment, au ſujet de l'unité du courant Magnétique, & de ſa direction: elles ſont aſſez connues.

LVI. Si de ces réflexions générales, on vient à conſidérer une aiguille de Bouſſole, on concevra que ſa ſubſtance doit être parſemée d'une infinité de pores, qui, ſe trouvant bout-à-bout les uns des autres, forment des eſpéces de canaux, paralleles à la longueur de l'aiguille, & qui percent d'un bout à l'autre; & que les petits poils qui tapiſſent ſes pores ſont tous renverſés dans le même ſens, & ont leur pointe tournée vers le bout de l'aiguille qui ſe dirige au Nord.

LVII. Il n'eſt pas de mon ſujet, d'examiner quelle eſt la meilleure façon d'aimanter une aiguille de Bouſſole; il me ſuffit d'avoir fait entendre, que pour qu'elle ſoit propre à nous indiquer le cours de la matiere Magnétique, il eſt néceſſaire qu'elle ſoit aimantée; c'eſt-à-dire, que la

(*a*) Il y a dans les Tranſ. Philoſ. 1732. une expérience curieuſe, qui établit la même choſe, p. 93. 94. & 95. de la traduction Françoiſe.

diſpoſition de ſes pores, ſoit telle qu'il eſt marqué dans l'article précédent; car c'eſt ce qu'on entend par fer aimanté, ne ſuffiſant pas pour cela qu'il ſoit inondé de matiere Magnétique, il faut que celle qui y circule ait un cours uniforme.

LVIII. Pour ſe convaincre ſenſiblement que l'aiguille aimantée ſe dirige conformément au cours de la matiere du tourbillon général, lorſqu'elle ſe trouve dans ſon courant, il n'y a qu'à la mettre dans le tourbillon particulier d'un Aiman, & on voit qu'elle prend toujours une ſituation conforme au cours de ce tourbillon, tel que le trace la limaille de fer; de ſorte que ſi autour d'un Aiman, on range pluſieurs aiguilles de Bouſſole, chacune ſur ſon pivot, elles ſe mettront toutes dans des poſitions différentes.

CHAPITRE V.

De la Déclinaiſon de l'Aiguille aimantée.

LIX. PEU après qu'on eut commencé de faire uſage de la Bouſſole, on s'apperçut que l'aiguille aimantée ne ſe diſpoſoit preſque nulle part exactement dans la ligne de direction des poles du mouvement diurne, & qu'elle s'en écartoit même différemment en différens endroits de la terre, tantôt vers l'Eſt, tantôt vers l'Oueſt; c'eſt ce qu'on appella la déclinaiſon ou la variation de l'aiguille aimantée, & c'eſt ce qu'on pouvoit appeller auſſi la déclinaiſon de la matiere du tourbillon général, puiſque la direction de ſon cours décide par-tout de celle de l'aiguille aimantée. La matiere Magnétique, ſelon M. Rohault, * ne diſcontinue de circuler dans le plan des méridiens, que parce que, paſſant par des endroits où il ſe rencontre des mines de fer, la facilité qu'elle trouve à s'y mouvoir, l'oblige de ſe détourner de ſon chemin; & en effet, il eſt naturel de préſumer, qu'elle ſe porte en

* Traité de Phyſique, partie 3. chap. 8. art. 58.

affluence vers les endroits qui sont fournis de mines de fer, * & qu'elle s'y ramasse davantage que par-tout ailleurs, ce qui ne peut qu'occasionner quelque déviation dans son courant. Cependant, je suis fort éloigné de croire, que ce soit là l'unique cause, ni même la principale, du phénoméne que nous examinons. Le rapport qu'il m'a paru avoir avec le résultat de quelques expériences que je vais rapporter, m'a donné lieu de reconnoître qu'il dépendoit de plusieurs autres causes, dont on ne s'est pas avisé jusques à présent, & qui y contribuent infiniment plus, que celle à qui M. Rohault l'a uniquement attribué.

* Voyez article 10.

LX. On sçait que lorsqu'on seme de la limaille de fer avec un poudrier, sur un carton placé au-dessus d'une pierre d'Aiman, la limaille s'arrange en une infinité de filets, qui, se réunissant vers les poles de la pierre, s'écartent de part & d'autre de son axe ; & que ceux de ces filets qui sont les plus éloignés de l'axe, sont ceux dont la courbure est la plus considérable : si tout près de cet Aiman, on en place un autre de façon que leurs axes soient à peu près paralleles entre eux, & disposés dans le même sens ; c'est-à-dire, que leurs poles de même nom soient tournés vers le même côté, ceux des filets de limaille, qui auparavant s'étendoient au loin sur le carton, du côté où l'on a mis le second Aiman, seront alors plus resserrés, plus rapprochés de l'axe de l'Aiman, & moins courbés ; ils ne formeront plus que des lignes presque droites.

LXI. Il suit de là, que les tourbillons des deux Aimans ne se croisent pas, mais qu'ils se repoussent, ou s'empêchent réciproquement de s'écarter du côté qu'ils s'avoisinent.

LXII. Quand on varie un peu cette expérience, en y employant des pierres d'Aiman d'inégale force ; qu'on en met ou 2, ou 3, ou 4, ou un plus grand nombre encore sous le carton, & qu'on les tient diversement éloignées les unes des autres, & tantôt plus, & tantôt moins ; on apperçoit à chaque fois des différences dans l'arrangement de la limaille, qui dépendent des circonstances combinées

de la quantité refpective de matiere Magnétique, qui tourbillonne autour des aimans, de leur éloignement, & du parallélifme plus ou moins parfait de leurs axes : mais ce qui eft important à remarquer, c'eft qu'il n'arrive guères, & peut-être jamais, que les filets de limaille foient difpofés uniformément fur le carton ; au contraire, leur arrangement indique prefque toujours qu'il s'en faut de beaucoup que les filets de matiere Magnétique des tourbillons contigus parcourent des routes paralleles entre elles. On y voit que tandis que les uns fe rendent d'un pole à l'autre dans la direction de l'axe, les autres s'en écartent; qu'ils déclinent indifféremment de part & d'autre, & fous différens angles; qu'un même filet ne fuit pas conftamment la même route, & que la plûpart, après en avoir pris une oblique, vers la gauche, par exemple, s'en détournent par degrés, ou pour s'avancer parallélement à l'axe de l'aiman du tourbillon duquel ils font partie, ou pour fe jetter vers la droite. Enfin les variétés qu'une même expérience nous offre à cet égard, font telles quelquefois, qu'on ne fçauroit les détailler exactement; auffi eft-il à propos de faire ces fortes d'obfervations par foi-même, pour en avoir une idée complette.

LXIII. Cette non-uniformité des routes que fuivent les filets Magnétiques qui tourbillonnent autour de ces Aimans, ainfi rapprochés, & que la limaille de fer nous trace toujours fidélement, nous repréfente au naturel, quoiqu'en petit, celle des routes que décrit la matiere du tourbillon général, & de laquelle nous devons la découverte aux déclinaifons différentes de l'aiguille aimantée; & de-là je fuis très-porté à croire que les caufes du phénoméne dans la matiere du tourbillon général, & dans celle des tourbillons particuliers font femblables : ainfi je ne puis m'empêcher de m'écarter un peu de l'hypothèfe commune, felon laquelle on confidere le globe de la terre comme un feul & unique Aiman, ou pour mieux dire, de faire à cette hypothèfe un changement, affez leger dans le fonds.

J'imagine donc, que la terre pourroit renfermer dans son sein, plusieurs grands Aimans, qui seroient ramassés autour de son axe, & dont les poles Austraux aboutiroient aux environs de son pole de même nom, & les Boreaux aux environs de l'opposé. Au reste, j'ose dire que cette supposition n'a rien que de naturel; car qu'est-ce qui est le plus difficile à concevoir, ou que la terre a un seul Aiman pour son noyau, ou qu'il est formé de plusieurs Aimans réunis ensemble? Examinons à présent si elle rend suffisamment raison du phénoméne qui produit les variations de la Boussole.

LXIV. Les tourbillons de ces grands Aimans, qui doivent * se repousser réciproquement, se servant de barrieres ou de digues les uns aux autres, ne balayeront chacun qu'une certaine portion du globe; mais tous ensemble, ils lui formeront une Atmosphére complette, quoique composés, s'il est permis de m'exprimer ainsi, de pieces rapportées. De plus si, comme on le peut supposer légitimement, les axes de ces Aimans ne sont pas paralleles entre eux; qu'il y en ait qui soient plus écartés l'un de l'autre vers un pole que vers l'opposé, & que leurs tourbillons n'étant pas également fournis de matiere Magnétique, il y en ait de forts & de foibles; il arrivera nécessairement aux filets de matiere Magnétique de ces tourbillons, ce que nous avons observé dans l'art. LXII. à l'égard de ceux des tourbillons des pierres d'Aiman, qui se trouvent dans de pareilles circonstances; les routes qu'ils parcourront, ne seront rien moins qu'uniformes; & si quelques-unes se dirigent dans le plan des méridiens, les autres y seront inclinés en différens sens, & sous différens angles, & seront susceptibles de toutes les inflexions & de tous les changemens de direction, propres à donner à l'aiguille aimantée des positions variées presqu'à l'infini.

* Art. LX. & LXI.

LXV. En effet, si quelqu'un de ces grands Aimans n'a pas son axe parallele à celui de la terre, la matiere de son tourbillon ne sçauroit circuler dans la direction de ses

méridiens; & si l'axe de l'Aiman qui l'avoisine, se trouve parallele ou moins oblique à celui de la terre, leurs tourbillons se heurteront en se côtoyant : de même si les tourbillons de deux de ces Aimans qui seront voisins, sont inégalement fournis de matiere Magnétique, le fort repoussera le foible, & d'autant plus, que les deux Aimans seront plus près l'un de l'autre. Il est évident que ce sont là autant de causes qui influent nécessairement sur la direction de la matiere du tourbillon général; & on sera moins étonné des variétés infinies qu'elles y occasionnent, si on fait attention que ces causes sont susceptibles d'une multiplicité prodigieuse de combinaisons, soit par elles-mêmes, soit par le concours des mines de fer & des roches d'Aimans *, qui se rencontrent assez fréquemment en différens endroits de la terre, & de certains écoulemens Magnétiques particuliers, dont je vais parler.

Art. LIX.

LXVI. Des expériences assez connues, nous apprennent que les passages par où la matiere Magnétique s'introduit dans une pierre d'Aiman, & ceux par où elle en sort, ne sont pas tous réunis vers les deux extrémités de l'Aiman, qualifiées du nom de poles : toute l'étendue de sa surface en est parsemée, & une partie de la matiere du tourbillon de la pierre, circule par ces passages isolés. Il en doit être de même à l'égard des grands Aimans qui forment le noyau de la terre; & nous avons des motifs de n'en point douter, dans les phénoménes de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, comme nous le verrons ci-après : la matiere du tourbillon général ne part donc pas toute du pole Austral, & elle n'est pas non plus toute rassemblée lorsqu'elle arrive au pole Boreal; mais au-delà de l'Equateur, elle doit sourdre de toutes parts, & s'élever de la surface de la terre en une infinité de filets, qui se vont joindre au tourbillon général, lesquels s'en détachent ensuite en deçà de l'Equateur, les uns plus près, les autres plus loin, & vont enfiler les passages dont la surface des grands Aimans est pour ainsi dire criblée; or ces filets Magnétiques,

ſoit quand ils vont groſſir le courant du tourbillon général, ſoit quand ils l'abandonnent, ne peuvent manquer de produire quelque changement dans la direction des filets du tourbillon à côté deſquels ils commencent où ils ceſſent de circuler.

LXVII. Comme j'ai déduit la nouvelle hypothèſe que j'expoſe, de la comparaiſon que j'ai faite des réſultats des expériences mentionnées dans l'Art. LXII. avec les variations de l'aiguille aimantée; j'ai été curieux d'éprouver ſi le cours de la matiere des tourbillons de quelques pierres d'Aiman, diſpoſés convenablement, pouvoit repréſenter d'une façon un peu exacte, le cours de la matiere du tourbillon général. Dans cette vûe, j'ai tracé ſur le papier les routes que parcourt la matiere du tourbillon général ſur certaines portions du globe, ſelon les obſervations & la carte de M. Halley, comme on peut le voir Planche II. & III. & j'ai eu le plaiſir enſuite de réuſſir à trouver des pierres d'Aiman, qui, placées à côté l'une de l'autre, donnoient aux filets de la limaille de fer, répandue ſur un carton placé au-deſſus, des diſpoſitions aſſez conformes à celle des lignes ponctuées en points ronds dans les Planches II. & III.

LXVIII. Il eſt à remarquer que dans ces Planches les courbes tracées en points longs, indiquent les lieux, où la déclinaiſon de l'aiguille aimantée eſt de la quantité de degrés marqués à chaque bout des courbes; & que les lignes ponctuées en points ronds, repréſentent le cours des filets Magnétiques du tourbillon général, tel qu'il doit être ſelon les obſervations de M. Halley: le filet Magnétique qui part, par exemple, du point *A*, fait un angle de 25° vers l'Orient, avec le plan du méridien, qui paſſe par le point *A*. PLANC. II.
A meſure qu'il s'avance, il coupe de moins en moins obliquement les méridiens qu'il rencontre, de ſorte qu'en *B*, ſa déclinaiſon du méridien n'eſt plus que de 20°. Elle diminue encore à chaque pas juſques vers *C*, où elle devient nulle, & où le filet Magnétique parcourt exactement

le plan du méridien jusques vers *D*, où il commence à s'écarter vers l'Occident. En *E*, sa déclinaison est déja de 5°; elle augmente ensuite de plus en plus, & en *F* elle est de 25°. Les deux cartes que je joins ici, sont copiées d'après celle qui est à la fin des *Elementa Physica*, de M. Muschenbroeck, édition de Leyde, 1734.

LXIX. Si on avoit des observations de la variation de l'aiguille aimantée en nombre suffisant, & qu'on traçât le cours de la matiere Magnétique sur un globe terrestre, comme je l'ai fait sur ces cartes particulieres, & conformément aux observations, on démêleroit, je crois, assez exactement, les différens endroits des poles, d'où part & où se rend la matiere de chacun des tourbillons particuliers, qui composent le tourbillon commun du globe, & on en pourroit inferer le nombre des grands Aimans, qui en occupent l'intérieur.

LXX. Je passe à d'autres particularités de la déclinaison de l'aiguille aimantée. La quantité de l'angle que la ligne de direction de l'aiguille, ou, ce qui est la même chose, du cours de la matiere du tourbillon général, fait avec la ligne méridienne, n'est fixe peut-être nulle part. On n'a pas été long-tems sans observer, que dans un même lieu l'aiguille aimantée change de position de tems à autre; que dans ceux où l'on n'avoit d'abord apperçu aucune déclinaison, on a commencé à en remarquer une au bout de quelques années, & que dans d'autres, où la variation avoit été déterminée d'une certaine quantité, cette quantité a augmenté ou diminué dans la suite.

LXXI. Ces observations ont donné lieu à un systême ingénieux & assez séduisant. Selon ce systême * l'axe de la partie Magnétique de la terre ou de l'Aiman, qui en occupe l'intérieur, est incliné à celui du mouvement diurne; en sorte que les poles *H* & *F* de l'Aiman se trouvent éloignés de quelques degrés des poles *A* & *B* du monde: comme cet Aiman *HGFD* est entraîné par le mouvement de la révolution journaliere de la terre; il tourne

* Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. c. 5. art. 58.

autour de l'axe *AB* de cette révolution; mais il ne s'avance pas aussi vîte que la croute du globe qui l'enveloppe, & à son égard il reste en arriere tous les ans de quelques minutes. Les poles de l'Aiman décrivent par conséquent des cercles *HC*, *FD*, autour des poles du monde, & à contre-sens du mouvement diurne, lesquels cercles ils acheveront de parcourir en un certain nombre d'années, qu'on pourroit même déterminer, si on avoit des observations en quantité suffisante, parce qu'on suppose leur mouvement régulier & uniforme. Il résulte de-là, que la partie Magnétique de la terre a ses méridiens particuliers, qui changent continuellement de situation, par rapport aux méridiens terrestres proprement dits, & que la variation successive de l'aiguille aimantée ayant une cause réguliere & constante, elle ne change qu'avec quelque sorte de proportion, & qu'au bout d'un certain tems, elle doit partout redevenir la même qu'elle étoit au commencement de sa période. Fig. XV.

LXXII. Il seroit fort à souhaiter que ce systême, que nous devons, je crois, à M. Halley, fût celui de la Nature; il seroit d'une grande utilité dans la recherche des longitudes: car le tems du retour périodique d'un pole de l'Aiman au point d'où il est parti, étant une fois connu, on pourroit se servir des anciennes observations de la déclinaison de l'aiguille aimantée, pour constater la longitude des lieux, où la quantité de la déclinaison auroit été déterminée. Mais est-il bien sûr qu'on n'ait pas été ébloui par les avantages que ce systême promet? En effet, outre que ce mouvement périodique qu'on attribue à la partie Magnétique de la terre, est sujet à de grandes difficultés, la prétendue régularité de la variation successive de l'aiguille aimantée n'est rien moins qu'établie par les observations; ou pour mieux dire, les conséquences immédiates de ce systême, & les résultats des observations s'accordent assez mal ensemble, & au point qu'ils paroissent au contraire dépendre d'une cause très-irréguliere.

1°. Les observations qu'on a faites la même année à Louvo, à Macao, & au Cap de Bonne Espérance, qui devoient donner une même position des poles Magnétiques, * en donnoient de toutes différentes. La déclinaison n'a changé à Quebec que de 30′ dans l'espace de 37 ans; & elle n'a pas varié du tout au Cap de Horn, dans un intervalle de 100 années.

* Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. ch. 5. Art. 59.

2°. Elle n'augmente ni ne diminue également d'une année à l'autre, étant quelquefois la même deux ou trois années consécutives, & avançant après cela beaucoup plus en un an, qu'elle n'a accoutumé de faire en deux.

Id. ibid.

3°. Dans un intervalle de tems très-court, elle avance dans un sens, retourne en arriere; & à Paris, elle étoit au mois d'Avril 1735, de 15° 45′ Nord-Ouest, & au mois d'Octobre de la même année, de 14° 55′; en 1736, de 15° 40′; & en 1737, de 14° 45′. M. Muschenbroeck * a aussi remarqué à Utrecht, que la déclinaison y augmentoit & y diminuoit tour à tour dans le même mois.

* Transf. Phil. 1732. n° 425.

4°. Les méridiens Magnétiques, & les méridiens proprement dits, étant concentriques, la déclinaison dans deux lieux de la terre diamétralement opposés, devroit être en différens sens, mais de la même quantité. Ainsi, si à l'un de ces endroits elle est de 10° vers l'Est, elle devroit être à l'autre de 10° vers l'Ouest : cependant, selon la carte de M. Halley, qui marque la déclinaison pour l'année 1700, la déclinaison sur l'Equateur à 165° de longitude, à compter du méridien de Londres, est de 11°, tandis qu'elle est nulle sur le même cercle à la longitude de 345°, quoique ce soient deux points du globe diamétralement opposés : de même à 130° de longitude, latitude méridionale de 60°, la déclinaison est d'environ 4°, & elle est de 25° au point diamétralement opposé, qui est à 310° de longitude, de latitude Septentrionale de 60°. Je me borne à ces deux exemples, dont il ne sera pas difficile de grossir le nombre, à ceux qui voudront se donner la peine d'examiner la carte de M. Halley.

5°. Il ne faut que jetter les yeux ſur celles où j'ai tracé le cours de la matiere du tourbillon général, conformément à ſes obſervations, pour ſe convaincre que la matiere Magnétique n'eſt aucunement aſſujettie à circuler dans un même plan, & qu'elle en change preſque à chaque inſtant, parcourant des courbes à double courbure : que deviennent donc les prétendus méridiens Magnétiques? Planc. II. & III.

LXXIII. En vain allégueroit-on qu'il ſe rencontre en différens endroits de la terre des mines de fer, & des rochers d'Aiman, qui ſont autant de cauſes particulieres, qui s'oppoſent à l'action de la cauſe générale, & doivent la troubler; & que, tandis que la cauſe générale tend à diriger l'aiguille vers un certain endroit, la cauſe particuliere peut prédominer, la tenir dirigée vers un autre pendant un certain tems, & lâcher priſe enſuite tout-à-coup. La plûpart des effets que je viens de détailler, ſont ſi conſidérables, qu'il n'eſt nullement probable que ces cauſes particulieres puſſent les produire, ſi la cauſe générale étoit réellement telle qu'on la ſuppoſe : ces cauſes particulieres ſont même abſolument inſuffiſantes, pour rendre raiſon de ceux énoncés au n° 3. de l'article précédent. Auſſi M. Hartſoeker, qui a adopté ce ſyſtême, & qui s'empreſſe à le ſoutenir, ne laiſſe-t-il pas de douter encore de la régularité du mouvement des prétendus méridiens Magnétiques autour de leurs poles, & de ſoupçonner d'après certaines obſervations, * qu'il y a pluſieurs croutes Magnétiques, qui ſe meuvent ſéparément en dedans du globe terreſtre, & avec des mouvemens aſſez irréguliers.

* Cours de Phyſ. d'Hartſoeker, l. 3. ch. 5. Art. 60.

LXXIV. Il me reſte à préſent à diſcuter, ſi l'explication qu'on peut donner, ſelon mon hypothèſe, de la variation ſucceſſive & continuelle de l'aiguille aimantée eſt plus juſte, plus naturelle, & plus vraiſemblable. J'ai établi, que ſes différentes déclinaiſons en différens endroits de la terre, réſultoient de la combinaiſon de certaines cauſes mentionnées dans les art. LXV. & LXVI. & ſi ces cauſes ſont ſujettes à s'alterer, à ſe renouveller, à eſſuyer enfin divers-

changemens, comme on ne sçauroit refuser de l'admettre, il est évident que la combinaison de ces causes ne sera pas toujours la même, qu'elle aura ses vicissitudes, & qu'ainsi dans un endroit quelconque, la déclinaison peut varier considérablement de tems à autre.

1°. Les grands Aimans qui forment le noyau de la terre, peuvent se fortifier & s'affoiblir, devenir plus abondans en matiere Magnétique, & en perdre : les volcans, qui, selon l'énumération du P. Kirker & de Thomas Ittigius, montent à 3 ou 400 dans le monde connu, peuvent calciner quelques parties de ces Aimans; & à cela, ces Aimans courent risque d'y gagner autant que d'y perdre : ils sont dans le cas d'une pierre d'Aiman que l'on taille ; si on la décharge de quelques parties superflues, qui nuisoient à la circulation de la matiere Magnétique, son tourbillon en acquiert de nouvelle, parce que les passages sont devenus plus ouverts & plus libres ; mais si on lui enleve des parties qui soient purement Magnétiques, ce sont autant de canaux perdus pour la matiere de son tourbillon, qui en devient moins abondant. L'eau qui se filtre dans la terre, est aussi capable d'altérer la vertu des grands Aimans ; elle charie avec elle une infinité de corps métalliques & de toute espéce, qui, par son moyen, peuvent s'insinuer dans les pores des Aimans, & causer du dérangement dans les petits poils qui tapissent ses pores ; & d'un autre côté, elle est en état d'enlever d'autour de ces Aimans les corps étrangers qui bouchent leurs pores, & empêchent la circulation de la matiere Magnétique : l'humidité peut aussi rouiller ces Aimans en quelques-unes de leurs parties, & d'autres causes peuvent en emporter la rouille.

2°. Les mines de fer, les rochers d'Aiman, qui sont parsemés sur la surface de la terre, peuvent s'alterer & se corrompre ; & il peut s'en former en des endroits où il n'y en avoit pas eu auparavant.

3°. Les passages isolés, dont nous avons dit, art. LXVI. que les grands Aimans étoient percés dans toute leur

longueur, peuvent se boucher, & il peut s'en ouvrir de nouveaux par les mêmes raisons que nous venons d'alléguer.

4°. Je ferai mention dans le chapitre suivant, d'une autre cause, qui influe beaucoup sur la déclinaison, & qui est propre à y produire des variations subites & continuelles. Articles LXXXVII. & LXXXVIII.

LXXV. Je ne parle point des changemens qui résulteroient dans la déclinaison de l'aiguille aimantée, au cas que la position respective des axes des grands Aimans cessât d'être la même, & que celui de quelqu'un d'entre eux vînt à être déplacé, au point d'être plus ou moins oblique à ceux des autres qu'il ne l'étoit auparavant: de pareils dérangemens ne pourroient se faire, sans que la terre ne fût vivement ébranlée, & tout au plus peut-on imaginer qu'il a pû y en avoir de pareils au tems du déluge.

LXXVI. Les causes de la déclinaison de l'aiguille aimantée étant une fois reconnues pour variables & susceptibles d'altération, la vicissitude continuelle de la déclinaison n'a plus rien qui surprenne; elle en est la suite nécessaire; il est vrai qu'on en peut conclure aussi, qu'elle sera fort éloignée d'être réguliere & uniforme; mais les résultats des observations nous obligent-ils jusques à présent d'en avoir une autre idée?

LXXVII. Je remarquerai en passant, que diverses aiguilles aimantées, observées dans le même instant & dans un même lieu, ne donnent pas toujours précisément la même déclinaison, ce qui vient ou de leur construction, ou de la disposition des parties internes du fer, comme il paroît par une expérience de M. de la Hire, rapportée dans l'Histoire de l'Académie 1717. p. 5. & par ce qu'ont observé Mrs. Bouguer (*a*) & Du Fay *. *Mém. Acad. 1731. p. 420.

(*a*) Méthode d'observer en mer la déclinaison de la Boussole, p. 1. §. 1.



CHAPITRE VI.

De l'Inclinaiſon de l'Aiguille aimantée.

LXXVIII. L'Inclinaiſon de l'aiguille aimantée, eſt ſon écartement de la ligne horiſontale parallele à l'horiſon ſous l'Equateur; elle s'y incline tant en deçà qu'en delà, dans un ſens qui abaiſſe celle de ſes pointes qui ſe dirige vers le pole le plus voiſin, & d'autant plus qu'elle en eſt plus près : c'eſt pourquoi les Pilotes, pour conſerver l'aiguille de leur Bouſſole en équilibre, chargent, lorſqu'ils ſont dans les climats Septentrionaux, le bout qui ſe dirige au Sud, d'un morceau de cire ; ils en diminuent le volume à meſure qu'ils approchent de l'Equateur, où ils l'ôtent tout-à-fait, & le tranſportent enſuite vers le bout oppoſé, quand ils s'avancent davantage vers le pole Méridional.

LXXIX. Ces faits annoncent que la ligne que décrit la matiere du tourbillon général, en ſe rendant d'un pole de la terre à l'autre, eſt diverſement inclinée à l'horiſon, par rapport aux différens endroits de ſa ſurface ; & les obſervations s'accordent à conſtater, que, toutes choſes égales d'ailleurs, l'angle qu'elle fait avec la ligne horiſontale, eſt d'autant plus grand, que le lieu où on en meſure la quantité eſt moins éloigné de l'un des poles, & qu'aux environs de l'Equateur cet angle eſt nul ; en ſorte qu'on en juge que vers les poles, la matiere Magnétique ſe dirige perpendiculairement à l'horiſon. Pour connoître avec préciſion la quantité de ſon inclinaiſon, on ſe ſert d'une aiguille ſuſpendue de façon qu'elle tourne librement ſur deux petits tourillons, comme le fléau d'une balance.

LXXX. Une expérience des plus ſimples, donne une idée très-exacte de ce phénomene. On n'a qu'à ſemer avec un poudrier, de la limaille de fer ſur une pierre d'Aiman ; la

la plûpart des molécules de limaille qui s'y attachent, se dressent sur une de leurs extrémités : au-dessus des poles de la pierre ils sont perpendiculaires ; & à proportion qu'ils sont plus proches de son Equateur, leur bout supérieur est plus incliné vers cet Equateur, aux environs duquel ceux qui se rencontrent, sont toujours étendus & couchés tout de leur long : la position de ces divers molécules de limaille est si conforme à la direction des routes qui suivent les divers filets de matiere Magnétique, qui tourbillonnent autour de l'Aiman, qu'il est évident qu'ils la tiennent d'elle ; & on en peut inférer, que l'inclinaison des routes que parcourt la matiere du tourbillon général, décide pareillement des différentes inclinaisons de l'Aiguille aimantée, observées en différens endroits de la terre : la conformité des effets que nous venons de comparer, est une preuve non équivoque, que des causes semblables les produisent.

LXXXI. La quantité de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, n'est pas égale en tout tems dans le même endroit : elle est sujette à des variations comme la déclinaison ; & ces variations sont même assez considérables. M. Muschenbroeck * a observé à Utrecht en 1730, une différence de 8° 45′, dans l'inclinaison d'un jour à l'autre.

* Transf. Phil. n°. 426.

LXXXII. Il n'est pas douteux, que les causes qui opérent les changemens qu'on observe dans la déclinaison de l'aiguille aimantée, & que nous avons détaillées ci-devant, art. LXXIV. n'influent aussi sur ceux dont son inclinaison est susceptible ; les filets Magnétiques qui circulent par les passages isolés, dont nous avons remarqué dans l'article LXVI. que les grands Aimans, qui forment le noyau de la terre, étoient parsemés dans toute leur longueur, sont propres sur-tout à produire de grandes variations dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée, au moment qu'ils commencent à enfiler ces passages, ou qu'ils cessent d'y passer.

Voyez article 74. n°. 3.

LXXXIII. Cependant, comme M. Muschenbroeck s'est apperçu, d'après les observations qu'il a faites sur la

* Tranf Phil. n°. 425. & 426.

déclinaiſon & l'inclinaiſon en 1729. 1730. & 1731.* que la déclinaiſon ne changeoit pas en même tems que l'inclinaiſon, & que l'une paroiſſoit quelquefois indépendante de l'autre; il y a apparence qu'outre les cauſes que je viens d'indiquer, il y en a encore quelqu'autre qui contribue aux variations de l'inclinaiſon, laquelle n'influe pas toujours néceſſairement ſur la déclinaiſon, du moins dans le même lieu, & c'eſt à quoi certaine conſtitution de l'air peut être très-propre. Je m'explique.

LXXXIV. On ſçait que le tonnerre a quelque eſpéce d'influence ſur le Magnétiſme : on peut réduire ſes effets à cet égard à quatre principaux. Il communique le Magnétiſme au fer qui n'eſt pas aimanté: il le fait perdre tout-à-coup à des aiguilles de Bouſſole : il en change la direction, & il les rend folles. Les trois premiers de ces effets dépendent vraiſemblablement des changemens qu'il occaſionne dans la diſpoſition des parties internes du fer : & on peut dire que dans le premier cas, il couche dans un même ſens les petits poils qui tapiſſent les pores du fer, & qui étoient dans une confuſion parfaite; que dans le ſecond, il brouille ou détruit ces petits poils, auparavant diſpoſés régulierement; & qu'enfin dans le troiſiéme cas, il les renverſe à contre-ſens, & leur fait préſenter leurs pointes vers le bout oppoſé à celui vers lequel elles étoient tournées. Mais quant au quatriéme cas, qui eſt celui où les aiguilles deviennent folles dans un lieu où le tonnerre tombe, on ſent qu'il ne réſulte pas des dérangemens que ce météore peut cauſer dans la ſubſtance du fer, mais bien plûtôt de l'agitation actuelle de la matiere Magnétique qui environne l'aiguille.

* Tranſ. Phil. n°. 442. art. 6.
* Hiſt. Acad. 1728. p. 36.
* Eſſai ſur les effets de l'air, par Arbuthnot, ch. VIII. art. 2.

LXXXV. Il paroît par diverſes expériences curieuſes de Chimie,* que des particules de fer entrent dans la compoſition des exhalaiſons dont la fermentation produit le tonnerre & les éclairs; * auſſi quelques Naturaliſtes prétendent-ils * que ces météores ſont formés par des exhalaiſons de pyrites : ces ſortes d'exhalaiſons ſont un milieu, où, à cauſe des particules de fer & de pyrites qui y

abondent, la matiere Magnétique se meut avec plus de facilité que dans l'air ordinaire, & où par conséquent, celle qui les avoisine, doit se diriger & se rassembler : & comme les éclairs, le bruit du tonnerre, & la chûte de la foudre, supposent nécessairement une violente effervescence dans les exhalaisons ; il est sensible qu'en attirant alors la matiere Magnétique, qui est aux environs à une certaine distance, elles ne peuvent manquer de lui communiquer de l'agitation où elles sont elles-mêmes : ainsi lorsque ces exhalaisons fermentent assez près de la surface de la terre, la matiere Magnétique y doit être extrêmement agitée, & disposée par conséquent à faire pirouetter sans cesse sur son pivot l'aiguille d'une Boussole, sur laquelle elle est à portée d'agir.

LXXXVI. Ces exhalaisons qui sont violemment agitées dans certaines circonstances, le sont moins, ou point du tout dans d'autres, & leurs parties peuvent être dans un parfait repos les unes à l'égard des autres : elles voguent dans l'Atmosphére, qui se charge d'ingrédiens de toute espéce, où elles se soutiennent plus ou moins haut, selon que l'air est plus ou moins condensé, & où le vent les promene çà & là, à son gré : la matiere Magnétique qui se trouve aux environs de celles de ces exhalaisons qui abondent en particules de fer, s'y dirige comme elle feroit vers une mine de fer ; de sorte que lorsque de telles exhalaisons descendent à portée d'un lieu quelconque de la terre, le courant de matiere Magnétique qui y circule, doit tendre plus ou moins vers ces exhalaisons, & changer d'inclinaison par rapport à la ligne horisontale, ce qui produit nécessairement une variation dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

LXXXVII. On voit que ces exhalaisons chargées de particules de fer, peuvent changer l'inclinaison de l'aiguille aimantée, dans le lieu sur le méridien Magnétique duquel elles s'arrêtent, sans y diminuer ou augmenter aucunement sa déclinaison ; mais qu'en même tems elles peuvent

influer sur la déclinaison de l'aiguille, dans les lieux qui sont à droite & à gauche sur le parallele du premier, puisque la matiere Magnétique qui circule par ces endroits-là, peut se diriger vers ces exhalaisons, auquel cas elle changera de direction, & circulera dans un azimut différent; de façon que le bout de l'aiguille qui se dirige au Nord, sera amené vers l'Est, dans un lieu qui sera à l'Ouest à l'égard de ces exhalaisons, & vers l'Ouest au contraire, dans un lieu qui sera à l'Est de ces mêmes exhalaisons.

LXXXVIII. Ces sortes d'exhalaisons contribuent surtout à ces variations journalieres dans la déclinaison de l'aiguille aimantée, que M. Muschenbroeck * compare à un mouvement d'oscillation, au moyen duquel l'aiguille ne fait qu'aller & revenir successivement sur ses pas.

* Transf. Phil. n°. 425.

LXXXIX. Il résulte de ce qui précéde, que les variations dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée, doivent être considérables dans les endroits où il y a des mines de fer, & où en même tems il souffle de grands vents: à ce moyen, l'Atmosphére peut y être chargé, dans un tems, d'une grande quantité d'exhalaisons ferrugineuses, que le vent peut ensuite balayer & dissiper tout-à-coup; ce qui ne sçauroit manquer d'occasionner un changement subit & remarquable, dans l'inclinaison de l'aiguille aimantée.



APPENDICE.

DE ce que la terre a un tourbillon de matiere Magnétique, ne ſommes-nous pas en droit de préſumer que la lune en a un, auſſi bien que les autres planétes de notre ſyſtême? cette conjecture eſt fondée ſur l'analogie: peut-être le tourbillon Magnétique que nous pouvons ſuppoſer au ſoleil, fournit-il à l'entretien de celui de chaque planéte, & agit-il à leur égard comme nous avons dit ailleurs, que le tourbillon général de la terre agiſſoit à l'égard des tourbillons particuliers des pierres d'Aiman: on expliqueroit aiſément par-là, comment la matiere Magnétique tourbillonne autour du globe de la terre, au lieu de ſuivre ſon chemin tout droit après en être ſortie par le pole Auſtral. La raiſon que M. Rohault en donne, n'eſt rien moins que convaincante, même ſelon ſes principes.

En conſéquence de notre ſuppoſition, les tourbillons Magnétiques des planétes, pourroient ſe trouver dans le cas d'influer réciproquement & en différentes façons les uns ſur les autres; la lune ſur-tout, qui eſt toujours aſſez voiſine de la terre, pourroit contribuer aux variations de l'inclinaiſon de l'aiguille aimantée, comme il paroît par l'expérience ſuivante.

J'ai mis au-deſſus d'une pierre d'Aiman, un carton garni de limaille de fer; tout autour des endroits du carton qui répondoient aux poles de la pierre, & à une certaine diſtance, les molécules de limaille ſe tenoient élevés ſur une de leurs extrémités, les uns plus, les autres moins obliquement: je ſoutins enſuite au-deſſus de la limaille ainſi diſpoſée, un autre Aiman à trois ou quatre lignes de diſtance l'axe parallele au premier, mais tourné à contre ſens, c'eſt-à-dire, de façon que les poles de différens noms des Aimans, regardoient vers le même côté; & alors les

molécules de limaille se sont dressés encore davantage ; la position de chacun d'eux approchoit plus de la perpendiculaire que celle qu'il avoit auparavant ; & quand j'ai retourné le second Aiman bout pour bout, continuant à le soutenir encore au-dessus du premier, le contraire est arrivé ; les molécules se sont inclinés. Dans le premier cas de cette expérience, la matiere Magnétique, qui, en sortant du pole Austral de l'un des Aimans, trouve à portée le pole Boreal de l'autre, va s'y rendre directement en partie, ce qui fait qu'elle se dirige moins obliquement à l'égard du plan du carton ; mais dans le second cas, les tourbillons des deux Aimans n'étant pas à même de se confondre, ils se repoussent mutuellement, & ils sont obligés de circuler par des routes plus inclinées au carton ; l'inclinaison des filets Magnétiques, décide toujours de celle des molécules de limaille.

Ainsi, si les axes des tourbillons Magnétiques de la terre & de la lune étant à peu près paralleles, étoient disposés de façon que leurs poles correspondans fussent de dénomination différente, leurs tourbillons pourroient se mêler en partie ; & plus la terre s'approcheroit de la lune, & plus l'angle que la ligne de direction de la matiere Magnétique forme avec la ligne horisontale seroit grand : si au contraire, leurs poles correspondans étoient de même nom, leurs tourbillons se repousseroient réciproquement, & plus la terre seroit proche de la lune, & plus la ligne que parcourt la matiere Magnétique s'inclineroit à l'horisontale.

Dans l'un & l'autre cas, la quantité de l'inclinaison de l'aiguille aimantée devroit, toutes choses égales d'ailleurs, être différente, lorsque la lune seroit au méridien du lieu où on l'observeroit, que lorsqu'elle ne commenceroit qu'à s'élever sur son horison ; dans le tems de la plus grande déclinaison Méridionale de cette planéte, que dans celui de sa plus grande déclinaison Septentrionale ; & enfin dans les sizigies, que dans les quadratures. Cependant il pourroit se faire, que ces différences fussent peu sensibles, soit

parce qu'elles seroient peu considérables par elles-mêmes, soit parce qu'elles seroient compliquées avec celles qui résulteroient des autres causes, qui influent sur les variations de l'inclinaison de l'aiguille aimantée, & que j'ai détaillées dans mon Essai sur l'Aiman.

Corrections & Additions envoyées par l'Auteur, après l'impression de cette Piéce.

N°. XXX. page 76. l. 14. au lieu de ces mots : *parce qu'elle agit alors sur chacun d'eux séparément*, & le reste jusqu'à l'alinea. *Lisez :* Ce qui est analogue aux résultats des expériences que M. de Buffon a entrepris, pour connoître la force du bois. De deux piéces de bois de Chêne, de 10 pieds de longueur, l'une qui avoit 4 pouces d'équarrissage, a rompu sous une charge de 3600 livres; & l'autre qui avoit 8 pouces d'équarrissage, n'a rompu que sous une charge de 27700 livres. Si la cohérence des fibres entre elles, ne contribuoit pas à augmenter leur force, la derniere de ces deux piéces n'auroit pû, ce semble, résister à une charge de 14400 livres, quadruple de 3600 livres, puisqu'elle n'avoit que quatre fois autant de fibres que la premiere piéce. Je puis citer encore en faveur de l'analogie que j'allégue, la conclusion que M. Du Hamel a tirée de diverses expériences qu'il a faites aussi sur la force du bois, à sçavoir qu'elle dépend beaucoup de la cohérence des fibres ligneuses, les unes avec les autres; ensorte qu'une piéce de bois formée de fibres ligneuses très-fortes, mais qui seroient peu adhérentes les unes avec les autres, pourroit rompre sous un poids, que supporteroit une autre piéce dont les fibres seroient plus foibles, mais mieux unies.

Mém. Académiq. 1741. p. 328. 332.

Mém. Acad. 1742. p. 340.

N° LXXI. page 98. l. 29. *Remplacez le contenu dans les N°. LXXI. & LXXII. par ce qui suit.*

LXXI Ces observations ont donné lieu à un systême ingénieux & assez séduisant. Selon ce systême, l'axe de la partie Magnétique de la terre, de l'Aiman qui en occupe

l'intérieur, eſt incliné à l'axe du mouvement diurne; & le premier eſt plus court que le ſecond, dont il eſt ſéparé; de ſorte que les poles Magnétiques ne ſont pas directement vis-à-vis l'un de l'autre, dans une ligne qui paſſe par le centre de la terre, & qu'ils ſe trouvent éloignés de quelques degrés des poles du monde, & ſans doute inégalement chacun du ſien reſpectif. Comme cet Aiman eſt entraîné par le mouvement de la révolution journaliere de la terre, il tourne autour de l'axe de cette révolution; mais il ne s'avance pas auſſi vîte que la croute du globe qui l'enveloppe, & à ſon égard il reſte en arriere tous les ans de quelques minutes. Par conſéquent les poles de l'Aiman ont un mouvement particulier, & à contre-ſens du mouvement diurne autour des poles du monde, dont ils ſe rapprochent & s'éloignent tour à tour; & la période de leur révolution pourroit même être déterminée, ſi on avoit des obſervations en quantité ſuffiſante: car on eſt porté à croire leur mouvement continu & uniforme. Il réſulte de-là, que la partie Magnétique de la terre a ſes méridiens particuliers, qui changent continuellement de ſituation, par rapport aux méridiens terreſtres proprement dits; & que la variation ſucceſſive de l'aiguille aimantée, ayant une cauſe réguliere & conſtante, elle ne change qu'avec quelque ſorte de proportion, & qu'au bout d'un certain tems elle doit par-tout redevenir la même qu'elle étoit au commencement de ſa période.

LXXII. Il ſeroit fort à ſouhaiter que ce ſyſtême, que Mrs Hartſoeker* & Bieſter** ont arrangé d'après M. Halley, fût celui de la Nature: il ſeroit d'une grande utilité dans la recherche des longitudes; car le tems du retour périodique d'un pole de l'Aiman au point dont il eſt parti, étant une fois connu, on pourroit ſe ſervir des anciennes obſervations de la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, pour conſtater la longitude des lieux où la quantité de la déclinaiſon auroit été déterminée: mais eſt-il bien ſûr qu'on n'ait pas été ébloui par les avantages que ce ſyſtême promet? En effet,

* Cours de Phyſ. p. 218.
** Eſſai de Phyſ. de Muſchenbroeck, p. 308.

effet, outre que ce mouvement périodique qu'on attribue à la partie Magnétique de la terre, est sujet à de grandes difficultés, la prétendue régularité de la variation successive de l'aiguille aimantée, n'est rien moins qu'établie par les observations; ou pour mieux dire, les conséquences immédiates de ce systême, & les résultats des observations s'accordent mal ensemble, & au point que ceux-ci paroissent au contraire dépendre d'une cause très-irréguliere.

1°. Les observations faites la même année à Louvo, à Macao, & au Cap de bonne Espérance, qui devroient donner une même position des poles Magnétiques, en donnent de toutes différentes. La déclinaison n'a pas varié du tout au Cap de Horn dans un intervalle de 100 années: elle n'a changé à Quebec que de 30′ dans l'espace de 37 ans; & en 1730, c'est-à-dire 30 ans après la construction de la Carte de M. Halley, on l'a trouvée de 42° dans la Baye d'Hudson, où M. Halley l'avoit marquée de 25°. seulement.

Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. ch. 5. Art. 59.

Préface de l'Essai de Physique de Muschenbroeck.

2°. Elle n'augmente ni ne diminue également d'une année à l'autre, étant quelquefois la même deux ou trois années consécutives, & avançant après cela beaucoup plus en un an, qu'elle n'a accoutumé de faire en deux.

Cours de Phys. d'Hartsoeker, l. 3. c. 5. art. 59.

3°. Dans un intervalle de tems très-court, elle avance dans un sens, retourne en arriere, revient sur ses pas, &c. A Paris, elle étoit au mois d'Avril 1735, de 15° 45′ Nord-Ouest, & au mois d'Octobre de la même année, de 14° 55′; en 1736, de 15° 40′; & en 1737, de 14° 45′. M. Muschenbroeck * a observé à Utrecht, que la déclinaison y augmentoit & y diminuoit tour à tour dans le même mois.

Transf. Phil. 1732. n° 425.

Mém. Acad. 1700. p. 8.

4°. Le même M. Muschenbroeck a fait remarquer, que si la déclinaison augmentoit réguliérement, elle devroit être en même tems plus grande en Laponie qu'en Hollande, en Hollande qu'en France, & en France que sur les côtes Occidentales d'Afrique: ce qui ne s'accorde

Préface de l'Essai de Physique de Muschenbroeck.

nullement avec les dernieres obſervations. Car en 1737. la déclinaiſon de l'aiguille aimantée, étoit à Torneo en Laponie, de . . . . 5° 5′ Nord-Oueſt.

à Utrecht, de 13 30

à Paris, de 14 25

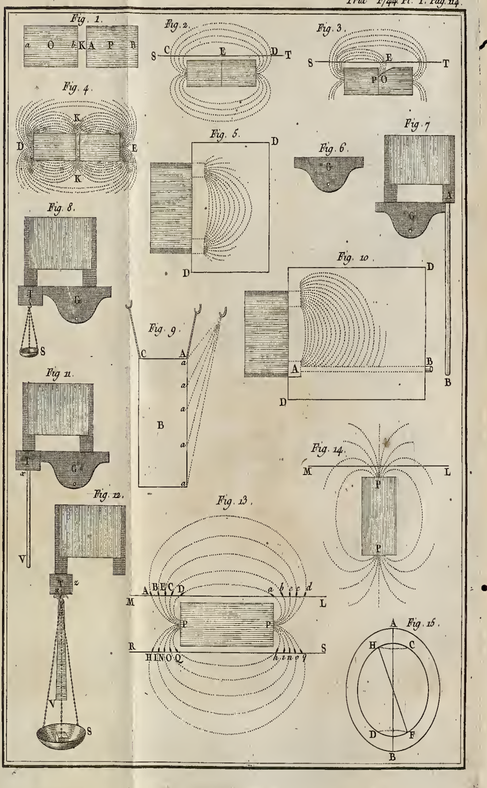
& à la hauteur de Larache, ville du Royaume de Fez, de 14 42

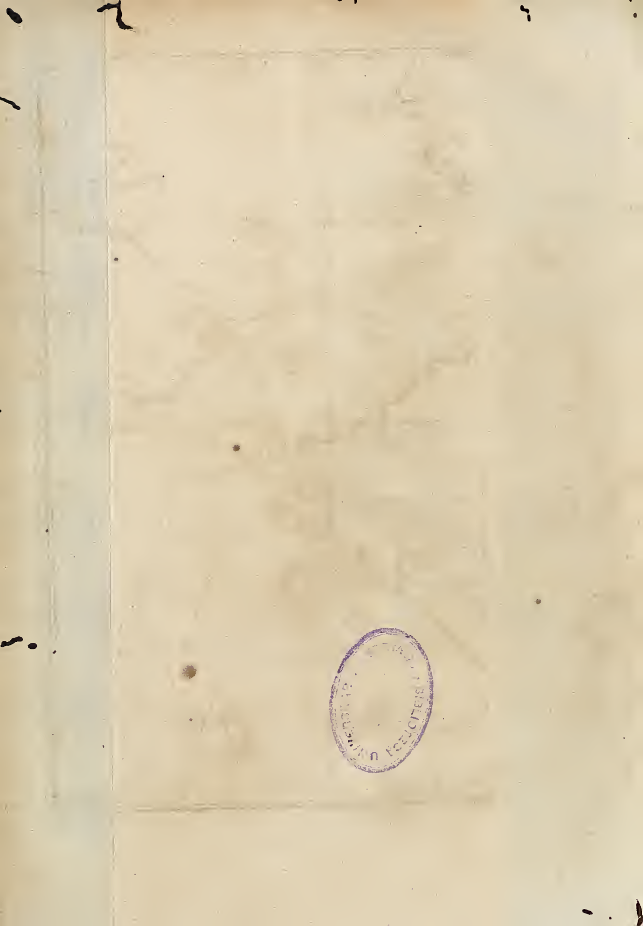
5°. La déclinaiſon dont la progreſſion dans tous les lieux placés du même côté de la ligne exempte de déclinaiſon, devroit être dans le même ſens, paroît cependant augmenter vers les côtes d'Afrique, tandis qu'elle diminue en Hollande & en Laponie. En 1738 elle étoit de 15° dans l'Iſle de ſainte Marie, l'une des Açôres, où en 1700 M. Halley l'avoit marquée de 6°; & devant Larache, de 1737 à 1738, elle avoit augmenté de 6′, au lieu qu'à Utrecht elle n'étoit que de 12° 15′, après y avoir été obſervée de 15° quatre ou cinq ans auparavant, & que nous venons de voir qu'à Torneo, où en 1695 M. Bilberg l'avoit trouvée de 7°, elle n'étoit plus en 1737 que de 5° 5′, par une obſervation dûe à M. de Maupertuis.

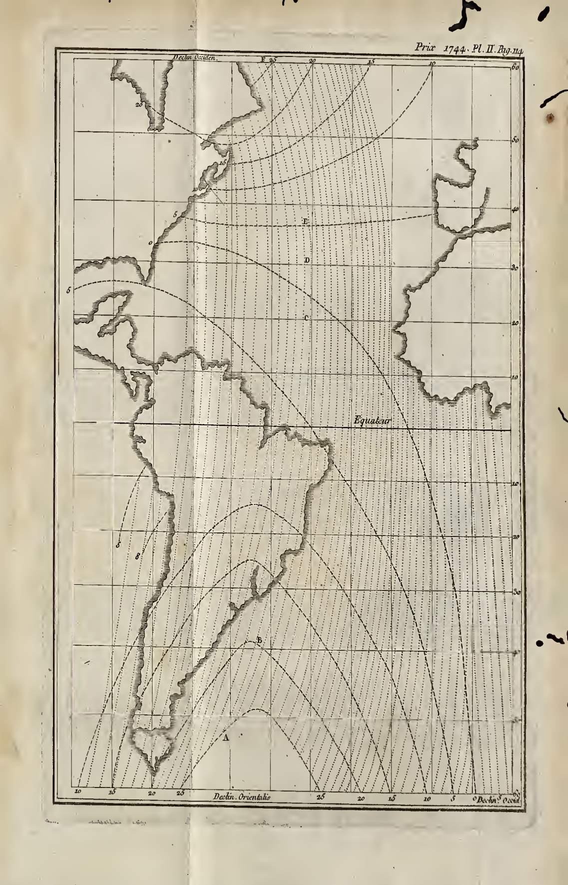
Préface de l'Eſſai de Phyſique de Muſchenbroeck.

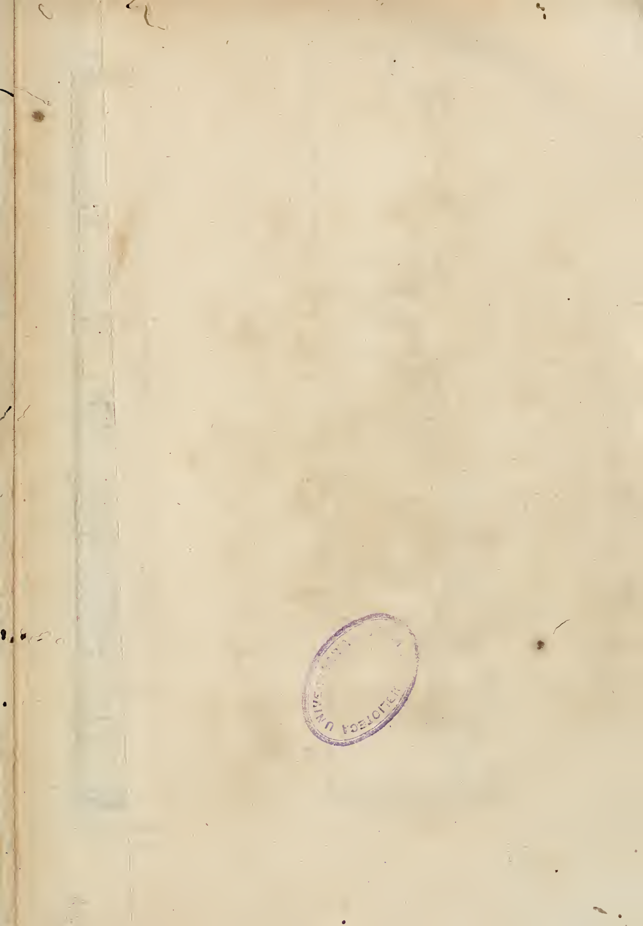
6°. Il ne faut que jetter les yeux ſur les cartes où j'ai tracé le cours de la matiere du tourbillon général, conformément aux obſervations de M. Halley, pour ſe convaincre que les divers filets de la matiere Magnétique du tourbillon général ne ſont rien moins qu'aſſujettis à circuler dans un même plan, & qu'ils en changent continuellement, parcourant des courbes à double courbure. Que deviennent donc les prétendus méridiens Magnétiques?




Fig. 1.
a O b K A P B
Fig. 2.
S C E D T
Fig. 3.
S E T
P O
Fig. 4.
K
D E
K
Fig. 5.
D
D
Fig. 6.
G
Fig. 7
A
G
B
Fig. 8.
T G
S
Fig. 9.
C A
a
a
a
B
a
a
a
Fig. 10.
D
A B
D
Fig. 11.
T G
x
V
Fig. 12.
T z
V
S
Fig. 13.
A B E C D
a b e c d
M L
P P
R S
H I N O Q
h i n o q
Fig. 14.
M L
P
P
Fig. 15.
A
H C
D F
B




Declin. Occiden.
Equateur
A
B
C
D
E
Declin. Orientalis
Declin. Occid.



AFRICA

Equateur

Declinatio Orientalis

Declinatio Occidentalis

NOUVEAUX PRINCIPES
DE
MECHANIQUE
ET
DE PHYSIQUE,
TENDANS A EXPLIQUER
La Nature & les Propriétés de l'Aiman.

Pour concourir au Prix de l'année 1746.

Cette Piece est une des trois entre lesquelles le Prix Triple a été partagé en 1746.

In sententia permaneto, enimvero nisi alia vicerit melior. Cic.

Par Mrs. Daniel BERNOULLI & Jean BERNOULLI.



NOUVEAUX PRINCIPES
DE
MECHANIQUE
ET
DE PHYSIQUE,
TENDANS A EXPLIQUER
La Nature & les Propriétés de l'Aiman ;
Pour concourir au Prix de l'Année 1746.

In sententia permaneto, enimvero nisi alia vicerit melior. Cic.

§. I. J'AI peine à croire que l'Académie, en proposant d'expliquer la nature & les propriétés de l'Aiman, se soit flattée d'une découverte à laquelle tant de Philosophes ont travaillé si inutilement, avec une application qui n'a abouti qu'à les persuader, que ce seroit toujours un sujet impénétrable à l'esprit humain. Quant à moi, quoique je ne désespere pas que cette

queſtion ne ſoit éclaircie un jour, je crois cependant, que nous en ſommes encore bien éloignés, & l'on ne ſçauroit nier qu'elle ne ſoit une des plus difficiles que nous ayons en matiere de Phyſique.

Malgré cette difficulté du ſujet propoſé, ſon importance juſtifie ſuffiſamment le choix de l'Académie, puiſqu'un ſeul pas dont on s'aſſureroit d'avoir avancé vers la connoiſſance de l'Aiman, vaudroit plus, ſans contredit, que toutes les découvertes ſûres, mais ſtériles, qu'on pourroit faire.

C'eſt cette réflexion qui m'encourage à propoſer mes idées ſur le ſujet en queſtion; & quoique je ne me flatte nullement de donner une Théorie de l'Aiman, qui ſoit à l'abri de toute objection, je croirai néanmoins avoir répondu en quelque façon aux vûes de l'Académie, ſi ces idées ont le bonheur de lui paroître plus probables, que ce qui a été dit juſques ici ſur le même ſujet.

§. 2. J'ai commencé mes recherches ſur l'Aiman par la lecture du Syſtême de Deſcartes, à laquelle j'ai fait ſuccéder celle des Auteurs les plus célébres qui en ont traité après lui. Je n'ai pû refuſer mon admiration aux conceptions tout-à-fait heureuſes du premier, ni à la ſagacité des autres à faire de nouvelles expériences, & à découvrir de nouvelles propriétés de l'Aiman; mais il eſt vrai qu'à cela près, je n'ai trouvé dans ces derniers aucune idée différente de celles de M. Deſcartes, qui eût le moindre air de probabilité.

Il n'eſt pas à douter que ſi ce fondateur de la vraie Philoſophie eût eu une connoiſſance ſuffiſante de la Méchanique, & des loix générales du mouvement, il n'eût pouſſé beaucoup plus loin le ſyſtême du monde, & qu'il n'eût peut-être rien laiſſé à déſirer à la théorie de l'Aiman; mais par malheur ce grand Philoſophe étoit preſque entierement dépourvû de ces connoiſſances, qui ont été pouſſées dans notre ſiécle, au plus haut point de perfection.

C'eſt donc en joignant le ſecours des méchaniques à celui des principes de Deſcartes, que nous allons tâcher

d'éclaircir notre queſtion. Pour cet effet, nous établirons d'abord les principes & les hypothèſes, d'où les propriétés de l'Aiman nous paroiſſent pouvoir être déduites le plus naturellement.

§. 3. *Tout ſe fait dans le monde, par la matiere & le mouvement.*

Ce principe de Deſcartes a quelque choſe de frappant, & il paroît ſi clair au premier abord, qu'on peut s'étonner qu'il ait été conteſté, je ne dirai pas par quelques-uns des anciens Philoſophes, mais par nos plus grands Philoſophes modernes, tels que Newton, & un grand nombre d'autres que ſon autorité a entraînés, & qui tous ont introduit le principe de l'attraction mutuelle de la matiere, exiſtente & innée dans la matiere même, & produite uniquement par la volonté immédiate & efficace de Dieu.

Ce principe ne paſſe-t-il point notre raiſon? & pouvons-nous concevoir que deux corps agiſſent l'un ſur l'autre, malgré un vuide parfait qui les ſépare? On auroit tort cependant de vouloir nier tout ce que l'entendement humain a de la peine à comprendre, & dont la réalité ne laiſſe pas que de ſe faire ſentir par les effets: il y a même un argument qui paroît prouver non-ſeulement la poſſibilité, mais la réalité même du principe de l'attraction mutuelle & univerſelle de la matiere; c'eſt que s'il n'y avoit dans le monde que de la matiere & du mouvement, il ſemble que le monde ne pourroit pas ſubſiſter, quelque mouvement qu'on voulût concevoir dans la matiere, ſoit circulaire, comme ſeroit celui des tourbillons, ſoit rectiligne, comme des torrens centraux, ſoit un mouvement d'agitation, dans lequel les parties de la matiere s'entrechoquant, vont & reviennent réciproquement, ou enfin tel autre mouvement qu'il ſoit poſſible d'imaginer: il eſt certain que la matiere qui compoſe cet Univers, devroit toujours s'écarter, & par conſéquent ſe raréfier de plus en plus, & enfin ſe diſſiper. Cette conſéquence eſt certaine, ſelon les loix univerſellement reconnues de la méchanique; & on

ne leve point la difficulté, en disant que le monde est d'une étendue infinie, puisque le défaut de permanence subsistera toujours.

Cette réflexion ne semble-t-elle pas prouver, ou que les loix de la méchanique ne sont pas universelles, ou qu'il y a des substances immatérielles qui agissent sur la matiere, ou enfin, que la matiere est douée de cette faculté incompréhensible de s'attirer mutuellement, & que l'état de permanence consiste dans un équilibre entre l'effort de la matiere à s'étendre résultant de son mouvement, quel qu'il soit, & l'attraction mutuelle?

Pour moi, j'avoue que je n'ai pû me satisfaire entierement sur cette objection, que je me suis formée contre le principe Cartésien; & j'ai été surpris de voir qu'elle faisoit encore plus d'impression sur plusieurs zélés partisans de ce principe à qui je l'avois proposée.

Mais quoi qu'il en soit, comme la Nature n'agit certainement que par des loix générales, on lui feroit grand tort, à mon avis, si on vouloit diversifier le principe de l'attraction pour chaque corps, & y concevoir des loix différentes. Je ne puis donc que rejetter d'abord ce principe dans le cas dont il s'agit, comme n'étant d'aucune utilité pour expliquer la nature de l'Aiman, me persuadant qu'elle ne doit être tirée que de la matiere & du mouvement.

Mais la grande difficulté est d'indiquer un mouvement qui soit permanent, & qui puisse produire, selon les loix de la Méchanique, tous les phénoménes que l'expérience nous fait voir dans l'Aiman.

§. 4. *Il peut y avoir une matiere subtile qui pénétre librement de certains corps, sans en pénétrer d'autres, ou sans les pénétrer que sous une certaine direction.*

Cette hypothèse n'a rien qu'on ne puisse admettre sans peine; elle est même confirmée par tant d'expériences, qu'il n'est presque pas permis de douter de sa vérité. Je me sens bien plus de répugnance contre l'hypothèse de la matiere striée ou canelée en double sens, & des doubles conduits

conduits Magnétiques canelés de même; elle me paroît avoir quelque chose de forcé : car en effet, n'est-ce pas, pour ainsi dire, faire violence à la Nature, si sage & si œconome, que de supposer qu'elle ait formé toute cette matiere canelée & ces conduits Magnétiques, uniquement pour nous donner le spectacle des différens jeux de l'Aiman? Je croirois encore, qu'*il y a une matiere subtile qui se meut dans la direction des méridiens Magnétiques*. J'avoue que cette hypothèse peut paroître un peu singuliere, & que la seule possibilité de ce mouvement ne suffit nullement pour l'adopter; mais on verra dans la suite, les raisons qui me paroissent le rendre probable. Il en est de même de cette autre proposition que j'avance; sçavoir que je crois, *qu'il se forme un tourbillon de matiere subtile autour de l'Aiman*. Il s'agit, dis-je, d'expliquer selon les loix de la Méchanique, comment se forment ces tourbillons; car de se forger pour l'explication de chaque phénoméne, un mouvement particulier & une nouvelle matiere, ce seroit pécher autant contre les loix générales de la Nature, que de supposer autant de loix dans l'attraction des corps, qu'on croiroit en avoir besoin pour expliquer tous les phénoménes.

Voici donc quelles sont mes idées, sur les hypothèses que je viens de proposer.

§. 5. *Je considere d'abord la matiere subtile Magnétique, comme un simple fluide élastique, semblable à l'air, sans y supposer ni tourbillons ni torrens centraux, pour ne pas multiplier les hypothèses sans nécessité.*

Il ne sera pas hors de propos de faire voir à ce sujet, en quoi consiste la fluidité & l'élasticité des fluides. Je crois donc comme démontré, que l'air est un amas de petits corps agités en tout sens; non contigus, mais laissant de grands intervalles entre eux. Ces petits corpuscules s'entrechoquant continuellement, changent les uns la direction des autres; & cette agitation confuse doit sans doute être entretenue par un fluide beaucoup plus subtile, qui traverse l'air. On voit bien que cette idée de l'air répond

parfaitement à toutes ses propriétés : elle explique en quoi consiste son élasticité, sa qualité de souffrir de grandes dilatations & condensations ; pourquoi son élasticité est à peu près en raison réciproque de son volume ; pourquoi cette élasticité est augmentée par la chaleur, qui cause une plus grande agitation dans les parties de l'air ; & enfin, pourquoi cette élasticité est en raison doublée, de la vîtesse avec laquelle les parties sont agitées : je puis même démontrer, sur certaines expériences qu'on a faites, quelle doit être la vîtesse absolue dans ce mouvement d'agitation, pour un degré de chaleur donné ; quelle est la grosseur de ces parties par rapport à leur intervalle moyen ; en quel volume l'air peut être condensé par une force infinie ; quelle est la vîtesse du son ; quel doit être le son absolu d'un tuyau d'orgue d'une hauteur donnée, &c. & tous ces résultats ont un caractère de vérité, qui frappe & qui confirme merveilleusement l'idée que je viens de donner des fluides élastiques tels que l'air.

§. 6. Ce mouvement intestin dont je viens de parler, existe, à mon avis, dans tous les fluides, sans quoi je ne vois pas comment on pourroit expliquer leur évaporation, leur ébullition, les précipitations, les dissolutions & d'autres phénoménes de cette nature : je ne sçaurois même concevoir de parfaite fluidité, sans ce mouvement intestin, au moyen duquel les parties cédent sans la moindre résistance, si ce n'est celle qui provient de l'inertie, & qui est nulle, lorsqu'il ne s'agit que de déplacer les parties sans aucune vîtesse sensible.

C'est ce mouvement intestin qui est cause que les parties ne sont pas aussi serrées qu'elles pourroient l'être, & que le fluide occupe toujours d'autant plus de volume, que les parties sont agitées par une plus grande chaleur.

Chaque fluide différent, admet naturellement une vîtesse différente dans l'agitation de ses parties ; & c'est certainement de la proportion de ces différentes vîtesses, qu'il faut déduire un grand nombre de phénoménes, qu'on sçait

arriver par le mêlange des fluides & plusieurs autres propriétés, que je ne m'arrêterai point à expliquer ici.

§. 7. Ces principes, qui me paroissent incontestables, sont d'une très-grande utilité dans la Physique-Méchanique. Mais la même cause qui produit & entretient cette agitation des parties dans les fluides, ne peut que produire aussi le même effet sur les corps solides, particulierement sur ceux qui sont durs, roides, & élastiques de leur nature, quoiqu'avec quelque différence. Je n'entens pas ici cette agitation qui peut être dans les fluides, renfermés dans les pores des corps solides, mais celle que je crois exister dans les fibres mêmes, dont le corps solide est composé; ces fibres sont sans doute dans un état de tension ou d'inflexion violente plus ou moins grande, suivant la nature des corps. L'exemple de ces petits corps de verre, qu'on appelle *Lachrymas Hollandicas*, ou *Larmes de Hollande*, en est une preuve sensible, puisque le moindre brin en étant rompu, le reste se brise si bien de soi-même, qu'il ne forme plus qu'une poudre impalpable; ce qui ne peut être produit que par la restitution des parties du verre, qui étoient dans un état de contrainte dans la larme entiere, & qui se débandent toutes à la fois, aussi-tôt qu'elle est entamée. Je pourrois citer une infinité d'autres phénoménes, qui prouvent cet état de contrainte dans les parties solides de plusieurs corps.

Or, il est certain que le reste étant égal, plus les parties sont contraintes, plus elles seront agitées rapidement; de même qu'une corde fait ses vibrations avec d'autant plus de vîtesse, qu'elle est tendue davantage. La structure des corps sera donc cause, que les agitations se feront plus ou moins vîte: si cependant, la cause qui produit & entretient ces agitations change, les excursions des parties du corps peuvent devenir plus ou moins grandes; mais il y a apparence qu'elles demeurent toujours isochrones, parce que la tension ou compression, ou telle autre contrainte qu'on voudra supposer, demeure toujours la même. C'est de

l'augmentation ou de la diminution de ces agitations que résulte sans doute la dilatation & la condensation des corps solides, causées par la chaleur & le froid; c'est pourquoi les corps qui ont toutes leurs fibres paralleles, ne souffrent presque aucun changement en longueur, & qu'ils en souffrent beaucoup en largeur.

§. 8. Nous voyons cette agitation ou ce trémoussement, se produire dans tous les corps bandés & arrêtés dans tel courant que l'on voudra, soit d'eau, soit d'air, soit de tout autre fluide; & il faudroit être bien peu versé dans la Physique expérimentale, pour ne l'avoir pas remarqué. Il semble que la nature évite le repos constant & parfait, & que ce que nous appellons ordinairement équilibre, ne consiste que dans des allées & des venues réciproques, imperceptibles & égales. Tous les corps sont extrêmement susceptibles de vibrations réciproques; l'air, qui passe à travers un long tuyau d'orgues, & dont l'agitation est presque insensible, ne laisse pas de produire un son, & puis de faire trembler toute une Eglise, & tout ce qui y est renfermé.

§. 9. Les torrents même tendent aussi à prendre un mouvement intestin, qui est un mouvement d'ondulation, comme plusieurs expériences nous en convainquent. Le sifflement causé par des vents violents, quoique formés & égaux, ce sifflement, dis-je, n'est autre chose qu'un ondoiement, pour ainsi dire, de l'air, qui consiste en ce que les couches d'air sont alternativement condensées & dilatées, pendant que le vent les emporte; plus le sifflement fait un ton aigu, & plus les couches d'air agitées sont minces, & si le ton étoit *C Sol Ut*, les couches d'air seroient épaisses d'environ un pied.

§. 10. *Les corps, soit fluides, soit solides, agissent d'autant plus efficacement les uns sur les autres, que les agitations intestines sont plus harmonieuses entre elles.* C'est la raison pour laquelle on casse un verre avec la voix, lorsqu'elle est forte & unisone. La Chimie nous apprend, qu'il y a des fluides qui n'agissent sur de certains corps, que sous un certain

degré de chaleur ; & ce degré de chaleur eſt ſans doute celui que demande l'harmonie entre les agitations inteſtines du fluide & du ſolide. On ne ſçauroit tirer de certains tons du Cor de Chaſſe, & de pluſieurs autres inſtrumens, ni même de la Trompette marine, ſçavoir lorſque les deux parties de la corde ne peuvent faire des vibrations harmonieuſes ; tout cela s'explique fort aiſément par ce que nous venons de dire.

On peut encore remarquer que les vibrations harmonieuſes ſont plus diſpoſées à ſe continuer, lorſqu'elles ſubſiſtent une fois, qu'à être excitées : on continuera, par exemple, ſur une flutte, un ton entonné avec telle embouchure & tel ſouffle, qui ne ſeroient pas encore aſſez propres pour le produire.

Tous ces principes ſont ſi conformes à la nature des choſes & aux vraies loix de la Méchanique, qu'ils ne me paroiſſent pas avoir beſoin d'une plus grande déduction ; & nous ſerions bienheureux, ſi de ſemblables hypothèſes ſuffiſoient pour expliquer tout ce qui regarde la nature de l'Aiman : cependant, j'eſpére d'en faire ſentir l'importance pour ce ſujet, & d'en pouſſer le méchaniſme plus loin qu'on ne l'a fait encore.

§. 11. La matiere ſubtile que nous employerons, n'eſt pas ſans doute une matiere particuliere, deſtinée uniquement à produire les opérations myſtérieuſes de l'Aiman : on ne ſçauroit l'avancer, ſans ſuppoſer la Nature extrêmement prodigue : il me ſemble donc, que cette matiere ſubtile doit être fort répandue, & faire une partie conſidérable du ſyſtême du monde. Il ſeroit difficile de déterminer ſi elle remplit le ſyſtême du ſoleil, ou ſeulement celui de la terre ; mais pour ne pas multiplier les êtres ſans néceſſité, j'aime mieux adopter la premiere de ces deux opinions que la derniere. Le ſoleil a une Atmoſphére fluide & élaſtique, de même que notre terre & tous les corps céleſtes ; mais l'Atmoſphére de la terre eſt certainement inutile pour expliquer toutes les propriétés de l'Aiman, & l'éther,

suivant moi, doit être censé faire partie du systême solaire. Il faudra donc recourir à l'Atmosphére du soleil, & y chercher cette matiere subtile, que nous appellerons *Magnétique*, qui puisse être la cause des propriétés de l'Aiman. Ce n'est pas que notre systême demande absolument cette hypothèse, & nous ne l'adoptons que par le principe d'une sage œconomie, que la Nature observe constamment.

§. 12. J'ai prévenu le Lecteur sur le paradoxe de cette proposition, que j'ai avancée sur le quatriéme article, qu'*il y a une matiere subtile qui se meut dans la direction des méridiens Magnétiques*. Presque tous les Physiciens ont senti, à la vérité, la nécessité de ce mouvement; mais l'hypothèse ne m'en paroît pas moins libre, si on ne fait voir en même tems de quelle façon ce mouvement peut se conserver. En effet, peut-on le concevoir, à moins qu'on ne voie une cause qui l'entretienne continuellement? Si ce mouvement étoit *primitif*, c'est-à-dire, s'il ne faisoit que naître, je suis bien persuadé qu'il ne sçauroit subsister par lui-même; ainsi, pour rendre raison de ce mouvement, il est absolument nécessaire d'en faire un mouvement résultant d'une cause primitive & permanente, qui l'entretienne perpétuellement; & c'est ce que je vais tâcher d'établir dans les articles suivans.

§. 13. Je ne considérerai d'abord aucun mouvement local dans le fluide Magnétique, & n'y attacherai que l'idée de l'élasticité, telle que nous la connoissons dans l'air. Il est très-vraisemblable que les Atmosphéres des corps célestes sont toutes douées de cette élasticité; l'énorme vîtesse de la lumiere, est une preuve que cette matiere fait un fluide extrêmement élastique; & si on en connoissoit la densité, on en pourroit déterminer l'élasticité, par le rapport de la vîtesse de la lumiere à celle du son. Si l'on suppose la densité de l'air $= 1$, & celle de l'éther $= n$; l'élasticité de l'air aussi $= 1$, & celle de l'éther $= m$; ce rapport entre la vîtesse du son & celle de la lumiere, donne à peu près $n = 640000000000\, m$; quand on supposeroit

donc l'éther un million de fois plus rare que l'air, son élasticité seroit encore 640000 fois plus grande que celle de l'air. On peut remarquer sur-tout, que quelle que soit la valeur de *m* & de *n*, l'agitation des parties que doit causer l'élasticité de l'éther, doit être 500000 de fois plus rapide que celle que doit produire l'élasticité de l'air, c'est-à-dire, d'autant plus grande, que la vîtesse de la lumiere surpasse celle du son; cette proportion peut se démontrer méchaniquement.

§. 14. Examinons présentement quelle structure il convient de supposer dans l'Aiman & dans le fer, pour pouvoir expliquer la cause du torrent Magnétique dans la direction des méridiens, & les effets de ce torrent, qui consistent dans les propriétés mutuelles de ces corps.

Je conçois donc l'Aiman comme un corps composé de fibres tendues, élastiques & paralleles, agitées continuellement d'un mouvement très-rapide, réciproque & ondoyant. Ce mouvement se manifeste aux yeux, par exemple, dans les cordes de musique tendues, & particulierement dans les lames élastiques, sur lesquelles on frappe pour en tirer un son, & dans lesquelles je puis démontrer ce mouvement *très-rapide, réciproque & ondoyant*, par des calculs & par une infinité d'expériences, qui s'accordent avec une exactitude merveilleuse à le prouver. (*Voyez l'art. VIII.*)

Je suis persuadé de ce mouvement universel dans tous les corps, indépendamment de l'Aiman en particulier; & c'est sans doute par son moyen, que le suc nourrissier est poussé jusqu'aux extrémités des plus hauts arbres, des plus hautes montagnes & des rochers, qu'on sçait croître comme les végétaux; d'ailleurs il est trop conforme aux principes de méchanique, pour être revoqué en doute.

§. 15. *Les fibres qui composent l'Aiman, peuvent laisser entre elles des intervalles ou des cavités, que je suppose remplies du fluide Magnétique.*

Cette hypothèse est encore non-seulement possible, ce qui nous suffiroit; mais elle est tout-à-fait vraisemblable,

à cause de l'extrême subtilité du fluide Magnétique.

Maintenant une de ces cavités, ou de ces cellules, étant resserrée par le mouvement ondoyant des fibres, sa voisine est nécessairement dilatée, & ainsi *le fluide est chassé de la premiere dans la seconde ;* il n'y a rien là qu'on ne conçoive avec la derniere facilité; mais je demande que l'on conçoive de plus, *que le retour du fluide de la seconde cellule à la premiere, ne se fasse pas aussi librement que s'étoit fait le premier passage.*

Cette hypothèse peut être expliquée en différentes manieres, toutes très-naturelles. J'en indiquerai une qui me paroît la plus vraisemblable.

On peut s'imaginer le dedans des fibres comme velu ou couvert d'une espéce de valvules, ou de soûpapes, ou de quoi que ce soit qui puisse en faire la fonction, & empécher que le fluide ne passe aussi facilement d'un côté que de l'autre. J'ai trouvé cette idée dans la Physiologie expérimentale de M. Stair, Auteur Anglois, qui, sans avoir des Méchaniques la connoissance nécessaire pour la Physique, m'a paru cependant faire souvent des hypothèses assez heureuses. En effet, nous voyons que la Nature s'est servi de cet artifice dans l'œconomie animale, pour la circulation des humeurs, qui ne pouvoit absolument être produite qu'au moyen de ces valvules. Sans cet artifice, je ne conçois pas la circulation des sucs dans les végétaux, & leur élévation à des hauteurs prodigieuses : n'est-il pas vraisemblable que ce mouvement est produit par une constriction & une dilatation alternative des petites parties des fibres, que j'ai démontré être un principe universel ? mais cette espéce de systole & de diastole, ne sçauroit produire aucune circulation, à moins qu'on ne dise que les fluides passent plus librement d'un côté que du côté opposé. Un grand nombre d'autres phénoménes me confirment dans cette idée; & je suis très-persuadé que c'est ici un artifice & un méchanisme employé généralement par la Nature, pour produire & pour conserver une infinité de mouvemens.

On peut encore en quelque façon expliquer par ces principes, la raison pourquoi les fibres de différentes plantes, les petits vaisseaux sécrétoires de certaines glandules, n'admettent que de certains sucs, en disant que tous les corps ayant un mouvement intestin de vibration, mais de différente durée dans les fluides différens, & dans les divers corps solides, les fibres n'admettront que les fluides qui auront une agitation harmonieuse avec elles. C'est sans doute cette agitation harmonieuse, qu'on doit entendre par le mot de *rapport*, introduit par quelques Chimistes modernes, pour expliquer les phénoménes qui résultent du mêlange successif de certains fluides avec d'autres; sans cette explication, ces rapports ne seroient qu'autant de facultés occultes, introduites par les anciens Philosophes.

Je me crois donc en droit de supposer dans les fibres paralleles de l'Aiman, quelque chose de pareil à ces valvules, & qui fasse le même effet, sans vouloir cependant déterminer précisément en quoi cela consiste; & ce ne sera que pour aider l'imagination, que nous supposerons de véritables valvules. Voici donc de quelle maniere nous pourrons concevoir la chose. *AB* (*Fig. I.*) étant une fibre creuse & élastique de l'Aiman, remplie du fluide Magnétique, nous imaginerons des deux côtés des valvules *ac*, lesquelles étant poussées vers *A*, retrécissent le passage *cc*, & l'élargissent au contraire en se pliant davantage vers *B*.

§. 16. Cette structure, ou telle autre équivalente qu'on voudra & qu'on pourra s'imaginer, jointe au mouvement ondoyant des fibres dont nous avons parlé dans le 14e article, ne peut que produire dans la matiere subtile Magnétique, que nous avons supposée en repos, *un torrent qui traversera la fibre de A vers B.* Car comme la fibre est composée de cellules qui se dilatent & se resserrent alternativement, celle qui sera dans sa systole, chassera le fluide dans sa voisine, qui est dans sa diastole; & les valvules n'accordant ce passage que de *A* vers *B*, il se formera

auffi-tôt un torrent très-rapide à travers la fibre *A B*.

Cette méchanique pourroit paroître un peu hardie, fi elle avoit l'air d'être accommodée à deffein à l'explication de l'Aiman ; mais comme nous y avons été conduits naturellement par des confidérations qui regardent généralement tous les corps, & non feulement l'Aiman en particulier, je crois qu'on me la paffera fans beaucoup de difficulté. Au refte, fi on fuppofe de plus, *que toutes les fibres dont l'Aiman eft compofé, n'ont pas leurs valvules difpofées en même fens, mais qu'une partie de ces fibres foit à contre-fens des autres*, il eft manifefte qu'on obtiendra par ce moyen un double torrent de fluide Magnétique, l'un contraire à l'autre, fçavoir l'un ayant fa direction de *A* vers *B*, & l'autre de *B* vers *A*.

§. 17. *Le fluide Magnétique paffant ainfi avec rapidité à travers la fibre, perdra beaucoup de fon élafticité, s'il ne la perd entierement.*

Car comme cette élafticité ne provient que de l'agitation inteftine des parties, & que ce mouvement d'agitation eft facilement changé en mouvement progreffif, par la violence du torrent; il s'enfuit que cette élafticité du fluide Magnétique, doit ou fe perdre entierement, ou être beaucoup diminuée, auffi-tôt que le fluide fe trouve dans la cavité des fibres : il fe pourroit auffi que les fibres fuffent trop étroites pour que ce mouvement d'agitation puiffe fe faire en toute liberté : enfin on pourroit dire encore, que cet autre fluide qui entretient le mouvement d'agitation des corps, ne peut pas paffer librement par les pores de l'Aiman, ni par conféquent y entretenir l'élafticité que le fluide Magnétique a hors des fibres.

Ce n'eft pas que j'aie befoin de toutes ces fuppofitions ; mais comme plufieurs phénoménes me paroiffent demander cette conféquence, je fuis bien aife d'indiquer, en paffant, les vrais principes qui peuvent mener à la connoiffance de plufieurs faits Phyfiques.

On fçait qu'il y a dans tous les corps, de l'air extrêmement

condensé; les uns renferment cent fois, d'autres deux cens, d'autres jusqu'à cinq ou six cens fois plus d'air que leur volume ne pourroit contenir. D'où vient tout cet air, & comment se condense-t-il si fort? si ce n'est qu'il perde son élasticité, soit en partie, soit en tout, & que de cette maniere il se condense de lui-même. Nous voyons de tout cela des exemples bien sensibles : c'est ainsi que l'eau résolue en vapeurs, est douée, par l'agitation de ses petites parties, d'une élasticité immense; mais cette agitation venant à cesser, les vapeurs se condensent, reprennent la nature de l'eau, & perdent toute élasticité.

§. 18. *Le torrent de fluide Magnétique ayant été formé de la maniere qu'il a été expliqué, & venant à quitter les fibres de l'Aiman, retombe aussitôt dans cet océan, dont il avoit fait partie avant que d'entrer dans l'Aiman, comme une riviere qui se jette dans la mer.*

Cette proposition est évidente, & n'a pas besoin de preuve; mais je dis plus : je dis qu'*il se formera incontinent un tourbillon autour de l'Aiman, & que la plus grande partie du torrent sortie d'un côté, par exemple par B, rentrera de l'autre côté par A.*

C'est une chose constante, que par-tout où il y a du mouvement, la Nature tend à continuer & à conserver ce mouvement : or la seule maniere de le conserver, est ici ce tourbillon & cette circulation. C'est ainsi qu'un vent qui rencontre quelque obstacle, ne change pas simplement de direction, mais qu'il se change en tourbillon, de même que les eaux d'une riviere. Un vent coulis qui entre par une porte entr'ouverte, produira un semblable tourbillon au coin d'une cheminée où il y a du feu; & les cendres rendent ce tourbillon fort visible. Comme il y a de tous côtés une grande affluence de fluide Magnétique pour entrer par *A*, le torrent qui sort par *B*, est d'abord un peu attiré vers *A*, & le tourbillon se forme ainsi peu à peu, jusqu'à ce qu'il soit parvenu à cet état de permanence, que la Nature recherche constamment & avec grand soin,

comme l'auront remarqué tous ceux qui l'ont un peu étudiée : or cet état de permanence ne s'y trouveroit pas, s'il falloit toujours une nouvelle matiere qui entrât par *A*. On pourroit se convaincre de cette théorie, en remuant avec violence un grand soufflet, pour chasser l'air avec rapidité par le tuyau ; car je suis sûr qu'on sentiroit à la main un petit vent, qui passeroit du tuyau vers l'ouverture de la soûpape : je suis persuadé aussi, qu'en faisant voltiger de la poussiere en l'air, on y remarqueroit en quelque façon cette circulation.

§. 19. Voilà donc comme le tourbillon se forme & se conserve; mais il est à remarquer, *que ce tourbillon ne laissera pas de subsister toujours, quoique l'Aiman soit transporté d'un endroit à l'autre.*

La raison en est la vîtesse comme infinie de la matiere Magnétique, par rapport à laquelle l'Aiman peut être censé comme en repos, quelque mouvement qu'on lui donne.

§. 20. Cette formation des tourbillons Magnétiques autour des Aimans, me fait conjecturer que le dedans de la terre est en grande partie Magnétique. *De-là viendra nécessairement le grand tourbillon autour de la terre, dans la direction des méridiens*, duquel sans cela, je ne sçaurois concevoir la permanence, sur-tout faisant attention au mouvement annuel de la terre. Sans le méchanisme qui vient d'être exposé, j'aurois bien de la peine à voir la possibilité du grand tourbillon, au lieu qu'en conséquence de nos hypothèses, je suis, pour ainsi dire, convaincu de son existence, qui d'ailleurs, est absolument nécessaire pour expliquer plusieurs propriétés connues de l'Aiman & du fer.

§. 21. Faisons présentement quelques réflexions sur ces tourbillons de la matiere Magnétique, qui se forment autour de l'Aiman.

Soit donc le tourbillon *ABCA* : (*Fig. II.*) je ne prétends pas dire à la vérité que le torrent Magnétique en sortant de l'Aiman, forme un tourbillon aussi fini & aussi

bien terminé que la figure le repréſente ; j'avoue au contraire, qu'il eſt plus que probable, que toute la matiere contenue dans l'eſpace *B C A*, ne rentrera pas par *A* ; mais comme cette circonſtance n'altère pas notre ſyſtême, nous pourrons conſiderer le tourbillon comme parfaitement terminé en *B C A*.

Il faut donc que ce ſoit l'élaſticité du fluide Magnétique, dont le tourbillon eſt environné, qui le contienne dans ſes limites, ſans quoi le fluide renfermé en *B C A*, s'échapperoit par ſa force centrifuge : il ſuit de-là que l'élaſticité du tourbillon eſt néceſſairement moindre que celle du fluide qui l'environne, puiſque cette élaſticité augmentée de ſa force centrifuge, doit égaler l'élaſticité de la matiere Magnétique autour du tourbillon, pour former l'équilibre entre les deux fluides : & ſi l'élaſticité de la matiere du tourbillon étoit nulle, il faudroit que les ſeules forces centrifuges contrebalançaſſent l'élaſticité du fluide environnant ; c'eſt pourquoi le fluide ſera comprimé, & ſa matiere condenſée, juſqu'au point de cet équilibre. Si au contraire, le torrent *A B* conſervoit ſon élaſticité, le tourbillon s'étendroit, & ſa matiere ſe raréfieroit juſqu'à ce que ſon élaſticité fût aſſez diminuée, pour qu'étant jointe aux forces centrifuges, l'équilibre fût établi.

§. 22. On a vû dans le 15ᵉ article, la ſtructure que nous donnons aux fibres creuſes de l'Aiman, dans leſquelles nous ſuppoſons des eſpéces d'arrêtes, qui laiſſent couler la matiere Magnétique avec plus de facilité d'un côté que d'un autre. Voyons à préſent quelle eſt celle qu'on peut & qu'on doit ſuppoſer dans la matiere du fer, pour expliquer les propriétés de l'Aiman, rélativement au fer.

Toutes les expériences s'accordent à prouver, qu'il doit y avoir beaucoup de rapport entre ces ſtructures. Je conçois donc dans le fer les mêmes fibres, avec le même mouvement ondoyant de leurs parties, que j'ai conçu dans l'Aiman ; j'y ſuppoſe encore les mêmes arrêtes, telles que *a c*, dans la I. Figure, avec cette différence, qu'au lieu que dans

l'Aiman ces arrêtes ſont inclinées, celles du fer ſoient naturellement perpendiculaires à la fibre, & qu'elles ne panchent pas plus vers *A* que vers *B*. Comme d'ailleurs le fer n'eſt pas formé tout pur dans les mines, mais qu'il a été purifié par la fonte, il eſt naturel de croire que ſes fibres n'auront pas toutes une direction commune & parallele, ainſi que celles de l'Aiman, mais qu'il y en aura un grand nombre en tout ſens.

§. 23. Quand je parle de ces fibres, je ne veux pas dire que ce ſoit des fibres qui s'étendent ſans interruption d'un bout à l'autre; je conſidere ici plûtôt les fibres qui ſont dans les plus petites parties, ſoit du fer, ſoit de l'Aiman; & lorſqu'un fluide les traverſe toutes, cela ſe fait en coulant d'une fibre à telle autre qui ſe trouve la mieux diſpoſée, pour lui accorder le paſſage.

Ce ſont là les principes qui me paroiſſent propres à expliquer notre queſtion; ils ſont d'ailleurs conformes aux loix de méchanique, & à mon avis, néceſſaires dans la Phyſique générale, ce qui les rend fort recommandables.

Il s'agiroit préſentement d'en faire l'application, & d'expliquer, par leur moyen, les phénoménes ſinguliers qu'on obſerve dans l'Aiman: mais comme le nombre de ces phénoménes eſt immenſe, il me ſeroit impoſſible de les parcourir tous; & je crois pouvoir d'autant mieux me diſpenſer de ce travail, qu'ayant une fois établi d'une maniere ſatisfaiſante, à ce qu'il me ſemble, le tourbillon de matiere Magnétique autour de l'Aiman, tous ceux qui ſont verſés dans la Philoſophie Cartéſienne, pourront, ſans beaucoup de difficulté, en combinant mes principes avec cette Philoſophie, les appliquer aux différens cas qu'il s'agira d'expliquer.

Cependant, pour mieux éclaircir mes idées, je crois devoir en faire l'eſſai, au moins ſur quelques-unes des principales propriétés de l'Aiman qui ont le plus d'influence ſur les autres, & qui ne me paroiſſent pas pouvoir être expliquées ſimplement à la maniere de Deſcartes.

Comme la cause de ces propriétés ne doit être attribuée qu'à quelque changement qui arrive au tourbillon de l'Aiman, nous n'avons qu'à examiner quelle altération ce tourbillon souffre dans chaque cas particulier, & si cette altération ne doit pas naturellement produire précisément le même effet qu'il s'agit d'expliquer.

§. 24. *L'Aiman attire le fer, & en est attiré réciproquement jusqu'à une certaine distance.*

Soit (*Fig. III.*) *AB* un Aiman, & *CD* un morceau de fer, posé à quelque distance de *B*, dans la ligne de direction du torrent Magnétique *AB*. Qu'arrivera-t-il dans ce cas au tourbillon, qui, sans le voisinage du fer, se seroit formé immédiatement autour de l'Aiman? Le torrent Magnétique qui se meut avec une rapidité immense dans les fibres de l'Aiman, suivant la direction *AB*, au sortir de ces fibres en *mp*, tend d'abord à continuer son mouvement dans la même direction, ne se détournant que peu à peu de la ligne droite, pour former le tourbillon; de sorte qu'avant que de s'être détourné sensiblement, il rencontre les fibres du fer *CD*, posées en ligne droite avec *AB*, qui lui offrent un libre passage, pour continuer son mouvement rectiligne: au lieu donc de former un tourbillon autour de l'Aiman seul, comme dans la II. Figure, il continuera son chemin, en s'insinuant dans les fibres du fer, par leurs orifices en *nq*, & traversera ces fibres d'un bout du fer jusqu'à l'autre, en pliant & courbant de *C* vers *D* leurs arrêtes, qui auparavant étoient perpendiculaires aux fibres. De cette façon, le torrent ne se changera en tourbillon, qu'après être sorti du fer en *D*; & de *ABCA* qu'il étoit dans la II. Fig. il deviendra *ADEA*; c'est-à-dire, que l'Aiman & le fer seront traversés par le même torrent, qu'ils seront enveloppés dans le même tourbillon, & qu'ils ne se trouveront séparés que par la portion *mnqp* du torrent. Mais la matiere Magnétique ayant perdu son élasticité, au moins en partie, pendant qu'elle traversoit les fibres de l'Aiman, comme nous l'avons fait

voir dans le 17[e] article, & ne pouvant la reprendre entierement dans ce petit intervalle de son passage de *B* en *C*, il doit arriver le même effet que nous sçavons arriver à tous les corps exposés dans l'Atmosphére de l'air, & entre lesquels il se trouve une espéce de vuide, sçavoir d'être poussés l'un vers l'autre, & de s'approcher si les corps ne sont pas contigus, ou d'être fortement attachés l'un à l'autre lorsqu'ils sont contigus. D'où nous voyons que non-seulement l'Aiman doit attirer le fer, mais encore que cette attraction est réciproque & que le fer doit attirer l'Aiman avec une égale force, conformément à l'expérience. Cette attraction réciproque, n'est pas toujours une conséquence nécessaire; mais elle l'est dans notre cas. L'Aiman & le fer s'attireront donc mutuellement, jusques à ce qu'ils se touchent; après quoi ils seront comme collés l'un contre l'autre, & ne formeront, pour ainsi dire, qu'un seul Aiman.

§. 25. *L'Aiman a deux poles opposés l'un à l'autre, où la vertu attractive est la plus grande.*

Pour expliquer ce phénoméne, on n'a qu'à se souvenir de ce que nous avons insinué dans le 16[e] article, qu'*en supposant l'Aiman composé de fibres qui toutes n'aient pas leurs valvules disposées en même sens, mais qu'une partie de ces valvules soit à contre-sens des autres, on obtiendroit, par ce moyen, un double torrent de fluide Magnétique, l'un contraire à l'autre, c'est-à-dire, l'un ayant sa direction de A vers B (Fig. II.) & l'autre de B vers A.* Car il est évident, que les deux torrents produiront aussi un double tourbillon *A B C A*, & *B A C B*, l'un & l'autre faisant le même effet que nous avons expliqué dans l'article précédent; d'où il suit que l'Aiman aura deux poles, opposés communément l'un à l'autre, & qu'en vertu du tourbillon *A B C A*, un morceau de fer sera attiré vers le pole *B*, de même qu'il sera attiré vers le pole *A*, en vertu du tourbillon *B A C B*.

Au reste, comme il peut y avoir dans un Aiman un plus grand nombre de fibres disposées en un sens qu'en l'autre, ou bien, comme il se peut que le torrent qui traverse les

unes,

unes, se meuve avec plus de rapidité que celui qui traverse les autres, il arrivera de-là, *que les deux poles n'auront pas toujours une attraction également forte, & qu'ils ne seront pas toujours tout-à-fait d'une même nature dans le même Aiman;* & c'est aussi ce que l'expérience nous fait voir.

On remarque encore plusieurs autres irrégularités par rapport à ces poles, qui toutes découlent très-naturellement de notre théorie. Il peut arriver, par exemple, que les fibres qui vont de *A* vers *B*, ne soient pas paralleles à celles qui vont de *B* vers *A*; & c'est en quoi consiste la raison pour laquelle *les deux poles d'un Aiman ne sont pas toujours diamétralement opposés.*

Il peut arriver encore, que les fibres qui vont de *A* vers *B*, ou celles qui vont de *B* vers *A*, ne soient pas toutes paralleles entre elles, mais qu'elles se séparent en branches; & comme chaque branche de fibres doit avoir en ce cas-là son pole particulier, *il en naîtra nécessairement plus de deux poles;* & c'est ce que l'expérience confirme dans plusieurs Aimans.

On voit évidemment, *que tout le reste étant égal, plus un Aiman a de poles, moins chacun de ces poles doit avoir de force attractive*; & c'est peut-être une des principales raisons pourquoi un Aiman a plus de force qu'un autre : car quoiqu'un Aiman ne paroisse avoir que deux poles, il n'est pas à présumer que toutes ses fibres soient si bien paralleles entre elles, que les torrens n'aient quantité de petites branches, ayant chacune son pole particulier, trop foible, à la vérité, pour être sensible, mais dont le grand nombre ne laisse pas de causer bien des irrégularités, & entre autres de diminuer la force des poles principaux. *Ainsi un Aiman sera d'autant plus foible, qu'il aura un plus grand nombre de ces poles insensibles, qui détournent, pour ainsi dire, du grand chemin le fluide Magnétique.*

§. 26. *Un morceau de fer enveloppé dans le tourbillon A B C A de l'Aiman A B (Fig. IV.) est attiré vers l'un ou l'autre de ses deux poles, quoique le point E où ce morceau de*

fer est placé, ne soit pas dans la direction du torrent AB.

Pour peu qu'on y fasse attention, on voit que ce cas ne différe pas de celui du 23[e] article, ou du moins qu'il peut y être réduit très-facilement, en appliquant ici le même raisonnement que nous avons employé ci-dessus. Car dans un point quelconque *E*, le tourbillon a une tendance suivant la tangente en ce point : or comme le morceau de fer qu'il rencontre en son chemin, le détourne de sa route vers *C*, en l'obligeant, pour ainsi dire, à traverser ses fibres en ligne droite, il changera de direction, & au lieu de continuer son chemin vers *C*, comme il auroit fait sans l'interposition du morceau de fer, il montera plus haut vers *D* ; & quoique la matiere Magnétique soit plus élastique en *E* qu'elle ne l'étoit en *B*, immédiatement après être sortie de l'Aiman, elle ne laisse pas d'être encore moins élastique que la matiere subtile qui environne le tourbillon ; par conséquent le morceau de fer sera toujours repoussé en arriere, & s'approchera du pole *B*.

On peut donc considerer la chose, comme si entre le point *E* & le pole *B* il y avoit dans la ligne de direction de la tangente en *E* un Aiman imaginaire *F G*, plus foible, à la vérité, que l'Aiman *A B*, mais qui ne laissât pas d'attirer le morceau de fer placé en *E*, & de le faire descendre vers *B*. Cet Aiman imaginaire *FG* ne sera pas fixe, comme il est aisé de voir ; mais à mesure que le fer descend, il descendra aussi lui-même, & sa force attractive augmentera toujours, jusqu'à ce qu'enfin il se confonde avec l'Aiman réel *A B*, & que le morceau de fer se réunisse avec le même Aiman au pole *B*.

Je dois encore remarquer, que quoique je n'aie fait mention que d'un seul Aiman imaginaire, on doit en supposer un autre à l'opposite du premier, par rapport au point *E*, qui sollicite le morceau de fer vers le pole *A* ; mais comme je suppose le point *E* assez proche du pole *B* pour que le tourbillon *A B C A* soit moins élastique en ce point là que le tourbillon *B A C B*, il s'ensuit de-là, que

l'Aiman imaginaire *FG* aura une plus grande force d'attraction que celui qui lui eſt oppoſé; & qu'il attirera toujours le fer placé en *E*.

Il eſt manifeſte par ce que nous venons de dire, que ſi le point *E* étoit à une telle diſtance des poles, que les deux Aimans imaginaires ſe contrebalançaſſent parfaitement, *le morceau de fer ne ſeroit attiré en ce cas-là, ni vers l'un ni vers l'autre des deux poles;* cependant, malgré cet équilibre, *le fer ne laiſſera pas d'être pouſſé, quoique très-foiblement, vers l'axe de l'Aiman*, à cauſe de la force centrifuge des particules du tourbillon Magnétique.

§. 27. Il n'eſt plus néceſſaire, après tout ce que nous venons de dire, d'expliquer *pourquoi la force attractive d'un Aiman diminue à meſure que ſa diſtance à l'objet qu'il doit attirer augmente;* car comme cette force attractive ne conſiſte que dans le peu d'élaſticité de la matiere Magnétique du tourbillon, & que cette matiere redevient de plus en plus élaſtique, à meſure qu'elle s'éloigne du pole de l'Aiman, il eſt impoſſible que l'attraction ſoit auſſi forte à une plus grande diſtance, qu'à une moindre.

Si cette attraction étoit une faculté intrinſéque de la matiere de l'Aiman, il faudroit qu'elle s'étendît à l'infini, en ceſſant peu à peu d'être ſenſible; mais l'expérience fait voir *que l'effet de la force attractive ceſſe aſſez bruſquement de ſe faire ſentir*, ce qui eſt une preuve évidente que l'attraction n'eſt pas une vertu qui réſide dans la matiere même de l'Aiman, & ce qui en même tems eſt très-conforme à notre théorie, en conſéquence de laquelle la vertu attractive ne doit pas étendre ſon effet au-delà du tourbillon Magnétique.

Il eſt vrai que nous avons dit ci deſſus, art. 21. qu'il n'eſt pas probable que le torrent Magnétique en ſortant de l'Aiman, forme un tourbillon parfaitement terminé; je tombe d'accord qu'une partie de la matiere du tourbillon s'échappera: mais comme ce qui s'échappe du tourbillon n'eſt qu'une très-petite partie, qui retombe dans ce vaſte océan

de matiere élaſtique qui environne le tourbillon, elle ne peut que s'y perdre; & ſi elle y conſerve encore quelque vertu attractive, elle ſera ſi foible que ſon effet échappera aux expériences les plus délicates.

Au reſte, il ſeroit difficile de déterminer exactement en quelle raiſon des diſtances les vertus attractives diminuent. J'ai remarqué cependant que toutes les expériences qu'on a faites à ce ſujet, donnoient aſſez à peu près en raiſon du quarré des diſtances, non de l'Aiman, mais de certains points P & p, pris au-dedans des corps qui s'attirent, & qu'on peut appeller en quelque façon, centres de forces. Sur ce fondement, il eſt très-aiſé de déterminer les diſtances P & p, qui répondent aux poles amis de deux Aimans, qui, comme on ſçait, & comme nous l'expliquerons dans l'article ſuivant, s'attirent mutuellement. Car ſoient deux Aimans AB & CD, (*Fig. V.*) qui aient deux poles amis en B & en C, & nommant $PB = x$ & $Cp = y$; & prenant d'abord $BC = a$, ſi l'on examine à la balance la force attractive qui répond à cette diſtance, qu'on nommera F, puis ſi l'on examine auſſi de la même maniere les forces attractives f & φ, qui répondent à deux autres diſtances quelconques, b & β, on aura ces proportions $F.f :: (x + b + y)^2 . (x + a + y)^2$. & $F. \varphi :: (x + \beta + y)^2 . (x + a + y)^2$. moyennant leſquelles on trouvera facilement les valeurs des inconnues x & y.

§. 28. *Deux Aimans étant placés dans la ſphère d'activité l'un de l'autre, s'attirent ou ſe repouſſent mutuellement, ſuivant que tels ou tels de leurs poles ſont tournés l'un contre l'autre.*

Chaque Aiman eſt compoſé de deux ſortes de fibres, les unes ayant leurs arêtes à contre-ſens des autres; or cette agitation harmonieuſe, ce *rapport* qui eſt requis pour former & entretenir le torrent Magnétique, ne ſe trouve qu'entre les fibres de même eſpéce, c'eſt-à-dire, dont les arêtes vont en même ſens; de ſorte que les fibres de différente eſpéce, ne ſçauroient laiſſer paſſer le même torrent, &

c'eſt en quoi nous allons voir que conſiſte la raiſon du phénoméne dont il s'agit ici. Car ſi les fibres qui vont de *A* vers *B* (*Fig. V.*) ſympathiſent, ou ſont dans une agitation harmonieuſe avec celles qui vont de *C* vers *D* dans l'autre Aiman, il eſt clair que ces deux Aimans s'attireront mutuellement, lorſque les deux poles *B* & *C*, ou bien *A* & *D*, que j'appellerai poles *de différent nom*, ſont tournés l'un contre l'autre ; & la raiſon en eſt précisément la même que celle de l'attraction mutuelle de l'Aiman & du fer, que nous avons expoſée ci-deſſus, de maniere à n'avoir rien à y ajouter ici. Mais voyons ce qui doit arriver aux deux Aimans *A B* & *D C*, (*Fig. VI.*) qui ſe préſentent les poles *de même nom.*

On voit par ce que nous avons dit au commencement de cet article, que le torrent Magnétique qui ſort par *B*, ne ſçauroit traverſer l'Aiman *D C*; car il ne ſçauroit paſſer par les fibres qui vont de *C* vers *D*, parce que les arêtes lui barrent le paſſage, & il ne peut pas paſſer non plus par les autres fibres, parce qu'elles ne ſont pas dans une agitation harmonieuſe avec celles par où il a paſſé dans l'Aiman *A B*. La même choſe doit être entendue auſſi du torrent qui ſort par *D*. D'où il s'enſuit que ces deux torrens formeront, chacun de ſon côté, un tourbillon particulier autour de ſon Aiman ; & comme la proximité des Aimans empêche que ces deux tourbillons ne s'étendent auſſi loin qu'ils s'étoient étendus auparavant, il faudra qu'ils ſe gonflent, & qu'ils montent en *E* & en *e*, plus haut qu'ils ne ſeroient montés ſans cela. Mais comme de cette façon les tourbillons ſe trouvent dans un état de contrainte, & qu'il n'y a plus d'équilibre entre le fluide du tourbillon & la matiere ſubtile & élaſtique qui l'environne ; cette matiere ſubtile fera un continuel effort ſur le tourbillon, juſques à ce qu'elle lui ait rendu ſa premiere figure, & que l'équilibre ſoit rétabli, ce qui ne ſçauroit ſe faire qu'en ſéparant & éloignant davantage les deux Aimans l'un de l'autre.

§. 29. *L'Aiman A a b B (Fig. VII.) étant coupé par le méridien C D, il ſe forme deux Aimans particuliers AB & ab,*

qui ont leurs poles de même nom en A & a, de même qu'en B & b.

Ce phénoméne eſt ſi conforme à notre théorie, qu'il n'a beſoin d'aucune explication; car puiſque chaque fibre d'un Aiman eſt un Aiman particulier, à plus forte raiſon les deux parties *A B* & *a b* feront-elles deux Aimans, étant ſéparées l'une d'avec l'autre: & comme avant la ſéparation, toutes les fibres qui avoient leurs arêtes en même ſens, étoient dans une agitation harmonieuſe, elles le feront encore après la ſéparation, & par conſéquent les poles *A* & *a*, de même que les poles *B* & *b*, laiſſeront paſſer le même tourbillon, c'eſt-à-dire, qu'ils ſeront poles de même nom.

Le même raiſonnement prouve, qu'*un Aiman A B (Fig. VIII.) étant coupé par l'Equateur CD, les deux parties coupées A B & a b, doivent encore être deux Aimans particuliers, ayant leurs poles de même nom en A & a, & en B & b:* ce que l'expérience confirme.

§. 30. *Un Aiman armé n'attire plus le fer vers ſes deux poles A & B, (Fig. IX.) mais vers les pattes C & D des deux fers dont il eſt armé; de plus, ſa force attractive eſt plus grande, & ſa ſphére d'activité plus étendue qu'elles n'étoient avant que l'Aiman fût armé.*

Pour expliquer le changement qui arrive dans ce cas au tourbillon de l'Aiman, je dis que le torrent *A B* au lieu de ſortir par le pole *B*, comme par exemple, dans la IIe Fig. pour ſe répandre tout autour de l'Aiman, & pour former en tout ſens le tourbillon *A B C A*, coulera preſque tout entier le long du fer *B D*; qu'après être ſorti par *D* il rentrera par la patte *C* de l'autre fer *A C*, & qu'ainſi au lieu du tourbillon *A B C A* de la IIe Figure, il ſe formera le tourbillon *A B D G C A* de la IXe. Figure.

Il eſt vrai qu'au premier moment, le torrent pénétrera un peu dans le fer *B D*, ſuivant la direction *A B*, qu'il avoit auparavant; mais auſſi-tôt que la matiere Magnétique ſe trouvera au-dedans de la ſubſtance du fer *B D*, elle ſe détournera, & traverſera ce fer tout du long, par la même raiſon que nous avons dit, que dans le cas de la IVe Fig.

la matiere Magnétique à la rencontre du morceau de fer *E*, au lieu de continuer ſa route vers *C*, ſe détournoit vers *D*, en traverſant en ligne droite le fer *E*.

Car en général, la matiere Magnétique tend à traverſer le fer ſuivant ſa plus grande dimenſion, parce qu'elle trouve un paſſage plus libre dans le fer qu'ailleurs. La raiſon en eſt, que le mouvement de cette matiere étant accéléré dans les fibres du fer, à cauſe de leur agitation très-rapide & continuelle, il s'y fait une eſpéce de ſuccement; & on voit bien que ce ſuccement doit être plus fort ſuivant la longueur du fer, que ſuivant ſon épaiſſeur, ſi le fer eſt plus long qu'il n'eſt épais.

Cette explication aſſez naturelle d'elle-même, eſt confirmée encore par les circonſtances ſuivantes.

I. Les piéces de fer dont on arme les Aimans, ont toutes la patte plus épaiſſe que le reſte; car de cette maniere le ſuccement eſt renforcé.

II. Ces piéces de fer étant trop épaiſſes par le haut, n'ont preſque aucune force attractive vers la patte, parce que le ſuccement ſuivant la longueur, ne prévaut pas aſſez ſur le ſuccement ſuivant l'épaiſſeur du fer, pour pouvoir détourner la matiere Magnétique en quantité ſuffiſante.

III. Il ne faut pas non plus que les piéces de fer ſoient trop minces par le haut, parce que ſi on n'armoit l'Aiman que de lames de fer très-minces, le torrent Magnétique qui ſe meut avec une grande rapidité, traverſeroit l'épaiſſeur de ces lames, avant qu'il eût le tems de ſe détourner.

Mais ce qui met notre explication entierement hors de doute, c'eſt une expérience très-aiſée à faire, & qui y a un ſi grand rapport, qu'on peut la regarder comme une démonſtration de ce que nous avons avancé.

Soit un vaſe *FAG* (*Fig. X.*) plein d'eau juſqu'en *FG*, avec un tuyau *ABD*, dont la partie *AB* ſoit cylindrique; que ce tuyau ait un coude en *B*, & que depuis ce coude il deſcende en s'élargiſſant; concevons auſſi qu'il ſoit criblé en *E*; il eſt clair que ſi on bouche avec le doigt l'ouverture *CD*, l'eau portée de *A* vers *B*, ne pourra ſortir que par les

trous en *E*; mais je dis que l'ouverture *CD* étant débouchée, l'eau ceſſera auſſi-tôt de ſortir par *E*, qu'elle ſortira toute par l'ouverture *CD*; & qu'elle ſera extrêmement accélérée.

Dans cette expérience, l'élargiſſement du tuyau & la deſcente de l'eau en accélérent le mouvement, de même que les ſyſtoles & les diaſtoles des cellules qui compoſent les fibres du fer, accélérent le mouvement de la matiere Magnétique; & cette accélération eſt de part & d'autre cauſe que le fluide ſe détourne de ſa route.

Notre raiſonnement étant donc vérifié par l'expérience, on voit bien qu'il explique très-naturellement le phénoméne en queſtion dans toutes ſes parties. Car l'Aiman étant duement armé, *les torrens Magnetiques, au lieu de ſortir par les poles A & B, (Fig, IX.) couleront le long de l'armure, ſortiront par les pattes C & D, & formeront les deux tourbillons B A C G D B & A B D G C A.*

De plus, puiſque les torrens, au lieu de ſe répandre tout à l'entour de l'Aiman, ſortent preſque tout entiers par les pattes *C* & *D*, la matiere Magnétique qui forme le tourbillon ſera beaucoup plus abondante & plus ſerrée, elle perdra auſſi plus de ſon élaſticité, & par conſéquent, *la force attractive ſera beaucoup plus grande, qu'elle n'étoit avant l'armure de l'Aiman.*

Enfin cette abondance de la matiere Magnétique, & ſon accélération, ſont cauſe *que la ſphére d'activité ou le tourbillon Magnétique s'étend beaucoup plus loin qu'avant que l'Aiman fût armé.*

Je borne ici l'application de ma théorie. Si les principes & les raiſonnemens ſur leſquels elle eſt fondée ont le bonheur de trouver quelque approbation auprès des Juges éclairés auxquels j'oſe les préſenter, il leur ſera très-aiſé de les appliquer à ce nombre preſqu'infini d'autres cas, qu'il eſt impoſſible de parcourir tous, ſans paſſer les bornes qu'on doit ſe preſcrire dans ces ſortes de Diſſertations, & de ſuppléer ainſi à ce qui pourroit paroître manquer à ce Diſcours.

F I N.

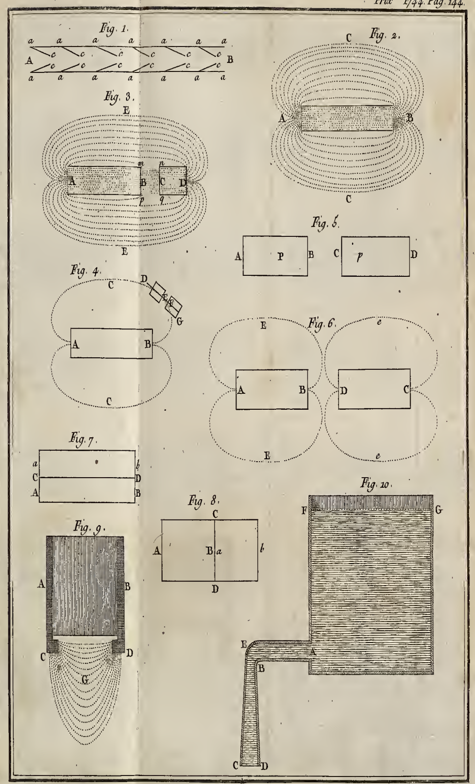
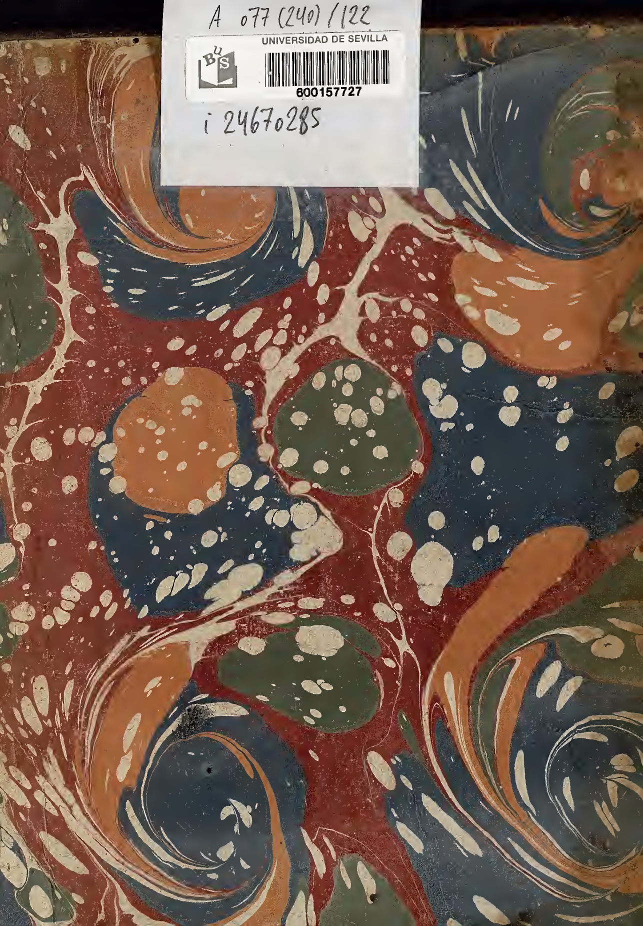


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.








PRIX
DE
LACALEM
TOM V